



Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin, en el municipio de Nuevo Colón Boyacá.

Mayerlin Orjuela Angulo

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.
Bogotá, Colombia
2016.

Incidencia de las características edáficas y climáticas en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin, en el municipio de Nuevo Colón- Boyacá.

Mayerlin Orjuela Angulo

Tesis de investigación presentada como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería- Ingeniería Agrícola.

Director (a):

(Ingeniero Agrícola, Ph.D.) Jesús Hernán Camacho Tamayo

Codirector (a):

(Ingeniero Agrícola, Ph.D.) Alfonso Parra Coronado

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola.

Bogotá, Colombia

2016.

A Dios, mis padres, hermanos y a ti.

Agradecimientos

Se expresa gratitud a la facultad de Ingeniería, Departamento de Civil y Agrícola, Universidad Nacional de Colombia- Sede Bogotá, a mi director y codirector de tesis, por sus valiosos aportes y constante dedicación a lo largo de toda la maestría. A la profesora Luz Mery González García del Departamento de Estadística - Facultad de Ciencias, y su grupo de estudiantes.

A la Vicedecanatura de Investigación y Extensión de la Facultad de Ingeniería por la corrección de textos con la valiosa colaboración de la profesional en estudios literarios Lorena Méndez Rivera.

De igual manera un especial agradecimiento a los señores Luis Sánchez, David Muñoz, Blanca Aponte y Jairo Orjuela, propietarios de los cultivos de ciruela, por el suministro de los frutos y el acceso a las localidades, por su valioso apoyo y colaboración en el trabajo de campo, al Instituto Geográfico Agustín Codazzi, por la realización del análisis químico de los suelos.

A la universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ingeniería Departamento de Ingeniería Civil y Agrícola, por el préstamo de termo-higrómetros, pluviómetros, por facilitar sus instalaciones y equipos para diferentes análisis.

Agradezco a mis colegas y amigos por su estímulo y apoyo a lo largo de la maestría.

Resumen

El desarrollo del cultivo de ciruelo (*Prunus domestica L.*) así como su edafología y calidad al momento de cosecha, son principalmente estimulados por la precipitación, y afectados en menor proporción por otros factores de clima y suelo. El objetivo de este estudio fue determinar la influencia de algunas variables climáticas y características del suelo en el desarrollo del fruto de ciruela cv. Horvin y su calidad en cosecha en el municipio de Nuevo Colón – Boyacá. Se marcaron veinte árboles por localidad en cuatro altitudes diferentes. Las mediciones se realizaron durante dos cosechas. Para el estudio de fisiología y caracterización físico- químico de fruto desde cuaje hasta cosecha. Se realizó un muestreo cada 15 días hasta su recolección, paralelo a esto se tomaron los datos de temperatura precipitación y humedad relativa para determinar la temperatura base. En el estudio físico y químico de suelos se tomaron muestras en cada localidad. Los resultados de los análisis multivariado y de correlación muestran que las condiciones climáticas, como la precipitación y la temperatura, así como la densidad aparente, macroporos, microporos, calcio, magnesio y azufre, inciden en el momento de la cosecha, en algunas propiedades del fruto como peso, longitud, firmeza e intensidad respiratoria.

Palabras clave: Condiciones de clima, propiedades de suelo, calidad de fruto, análisis multivariado.

Abstract

Crop development plum (*Prunus domestica* L.) and its soil science and quality at harvest, are mainly stimulated by precipitation. Also, the crop is affected by other climate factors and soil acting lesser extent. The aim of this study is to determine the influence of some climatic variables and soil characteristics in the development of the plum fruit cv. Horvin and quality harvest in the town of Nuevo Colón - Boyaca. Twenty trees per locality in four different altitudes are marked. Measurements were made for two harvests. For the study of physiology and physico-chemical characterization of fruit were made from fruit set to harvest. Sampling was conducted every 15 days until harvest, parallel to this temperature data precipitation and relative humidity were taken to determine the base temperature. In the physical and chemical study of soil samples they were taken at each location. The results of the multivariate analysis and correlation show that weather conditions such as rainfall and temperature, as well as bulk density, macro-pores, micropores, calcium, magnesium, sulfur, affect some properties of the fruit at harvest time as weight, length, strength and respiratory intensity.

Keywords: weather conditions, soil properties, fruit quality, multivariate analysis.

Contenido

1. Marco conceptual.....	17
1.1 Características del cultivo.....	17
1.1.1 Cultivares.....	17
1.1.2 Ecofisiología	18
1.1.3 Crecimiento y desarrollo de la planta	20
1.1.4 Características nutraceuticas.....	22
1.1.5 Producción.....	23
1.1.6 Cambios fisiológicos a través de la cosecha.....	25
1.2 Influencia de las condiciones climáticas en la calidad	28
1.2.1 Influencia de la temperatura ambiente	28
1.2.2 Influencia de la intensidad y duración de la luz	29
1.3 Influencia de las diferentes condiciones edáficas	29
1.3.1 Variables edáficas que afectan el suelo.....	30
Composición física del suelo	30
Composición química del suelo.....	31
 2. Temperatura base para un estado fenológico de la ciruela variedad Horvin (Prunus doméstica L.).....	 39
2.1 RESUMEN	39
2.2 INTRODUCCION	40
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS	42
2.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio	42
2.3.2 Estimación de la temperatura base (Tb)	44
2.3.3 Estimación del tiempo térmico (GDC)	45
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
2.4.1 Estimación de la temperatura base (Tb)	47
2.4.2 Discusión	50
2.4.3 Estimación del tiempo térmico (GDC)	51
2.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	52
 3. Efecto de algunas condiciones edáficas en algunas características físico- químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela variedad Horvin.	 53
3.1 RESUMEN	53
3.2 INTRODUCCION	54
3.3 MATERIALES Y MÉTODOS	55
3.3.1 Localización y zonas de estudio	55
3.3.2 Diseño experimental	56

3.3.3 Toma de muestras	57
3.3.4 Procesamiento y análisis de datos	58
3.4 RESULTADO Y DISCUSIÓN	58
3.4.1 Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo	58
3.4.2 Análisis descriptivo de las propiedades químicas del suelo	62
3.4.3 Caracterización físico-química y fisiológica de fruto de ciruela variedad Horvin	66
3.4.4 Análisis de correlación entre los parámetros de cosecha y las propiedades del suelo. 69	
3.4.5 Análisis de componentes principales	71
3.5 CONCLUSIONES	76
4. Efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características físico-químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela variedad Horvin desde el cuajamiento de fruto hasta cosecha.	78
4.1 RESUMEN	78
4.2 INTRODUCCION	79
4.3 MATERIALES Y METODOS	81
4.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio.	81
4.3.1 Diseño experimental y toma Diseño experimental y toma de muestras	82
4.3.2 Variables medidas	82
4.3.3 Análisis estadístico	84
4.4 RESULTADO Y DISCUSIÓN	84
4.4.1 Crecimiento del fruto	84
4.4.2 Intensidad respiratoria.	86
4.4.3 Relación de madurez (RM)	87
4.4.4 Cambio de color	88
4.4.5 Análisis de correlaciones	89
4.4.6 Características fisicoquímicas en la cosecha	89
4.5 CONCLUSIONES	91
5. Consideraciones generales.....	92
5.1 Consideraciones y recomendaciones.....	92
Recomendaciones	94
6. Bibliografía	96

Introducción

La ciruela variedad Horvin (*Prunus doméstica L.*) es una planta originaria de Europa y Asia. Esta especie se caracteriza por poseer una alta adaptación en diferentes altitudes, que varía entre 2100 y 2450 msnm (Parra-Coronado, 2008). Las especies de ciruela o jocote (*Spondias spp*), que producen frutos comestibles, son originarias de América tropical, de las regiones del pacífico y de algunos países asiáticos (Airy *et al.*, 1967). Únicamente dos especies de este género son nativas de México: *Spondias purpurea L.* y *S. mombin L.* cv. mombin. Ambas se distribuyen desde México hasta Panamá junto con *S. radlkoferi* Donn. Sm (Miller, 2005). En Colombia se estima que los principales aumentos porcentuales en los volúmenes de exportación para el año 2011 fueron registrados por ciruelas (35,7%) (Fischer *et al.*, 2012). A nivel nacional, el departamento de Boyacá cuenta con aproximadamente 3.000 hectáreas plantadas de cultivos de frutales caducifolios (peral, duraznero, ciruelo y manzano) (Puentes, 2006), mientras que en el departamento de Caldas se encuentran establecidas aproximadamente 310 hectáreas (Botero & Morales, 2000). Boyacá es considerado el departamento más importante en la explotación de los cultivos de caducifolios en el país, debido a las ventajas comparativas que posee, entre las cuales se pueden mencionar clima, suelos, precipitación, acumulación de horas frío, vocación frutícola de los productores y la experiencia acumulada por más de 50 años (Puentes, 2006). El sistema de producción de frutales caducifolios, en este departamento, se enmarca básicamente en el subsector de la economía campesina, con predominio de pequeñas agro empresas con extensiones de 2,8 ha en promedio (Puentes *et al.*, 2008).

Los cultivos de ciruela, al igual que en otras especies, presentan ciertos estados fenológicos de crecimiento entre el cuajamiento y la recolección. El crecimiento hace referencia, según Krug (1997), al incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en forma, tamaño, masa (Ardila *et al.*, 2011). Es importante conocer la época de recolección para así determinar las labores culturales que se pueden programar a lo largo de toda la cosecha y a su vez, el manejo adecuado que se le debe dar.

El fruto de ciruela presenta, en su cosecha, grandes diferencias en sus características fisicoquímicas, incluso entre los frutos cosechados en el mismo cultivo. Las características físico-químicas del fruto son influenciadas por las zonas de producción que varían según su altitud, (Fischer *et al.*, 2007), precipitación o humedad disponible en el suelo (Mellisho *et al.*, 2012). La asimilación influye en los procesos físico-químicos de las frutas que se cosechan. La respiración influye en los cambios del fruto durante el periodo de crecimiento (Schouten *et al.*, 2002).

La calidad de las frutas en general está directamente relacionada con la madurez en su recolección. Por lo tanto, es necesario considerar diversas características como la firmeza, la acidez titulable y el contenido de sólidos solubles (Parra-Coronado & Hernández - Hernández, 2008). Además, el crecimiento se puede cuantificar mediante modelos definidos, a través de expresiones o funciones matemáticas, que incluyen un conjunto de índices (Thornley & France, 2007). Un modelo matemático nos permite evaluar diversos manejos y realizar algunas proyecciones de rendimientos, costos y beneficios con base al uso de diversas prácticas agrícolas (Tapia Iturrieta *et al.*, 1993).

Algunos autores como Salisbury & Ross (2000) indican que generalmente, los frutos de hueso (drupas) presentan un comportamiento sigmoideal doble, al contrario de lo que sucede con las pasifloras (Pocasangre *et al.*, 1995).

Para la predicción de las etapas de crecimiento y desarrollo de los cultivos se ha utilizado el tiempo calendario (Mendoza *et al.*, 2004). Según López *et al.*, (2005). el método más utilizado es la acumulación de temperatura media diaria por encima de una temperatura base (T_b), también conocido como tiempo térmico - fisiológico, unidades de calor o grados días de crecimiento (GCD). Éste último, se define como un proceso de fase fenológica que determina el crecimiento y desarrollo de los frutos y calcula la tasa de aparición de diferentes órganos de la planta (Normand & Léchaudel, 2006). En Colombia, la exploración de la técnica de modelamiento y simulación ha sido escasa y es determinante debido a la influencia de variables climáticas. Estas herramientas nos permiten predecir de forma rápida y eficaz una respuesta a un cultivo determinado, razón por la cual se hace importante continuar con estos proyectos de investigación que permitan aportar al conocimiento y tomar decisiones oportunas. Por otra parte, las

variables edáficas como el hierro, son esenciales en un cultivo, ya que el aumento o la disminución puede producir bajo crecimiento en el área foliar y por ende la afectación del cultivo en general (Salisbury, 2000). La nutrición mineral juega un papel importante debido a que es una buena aproximación de lo que se tiene y se puede mejorar en un cultivo. Es importante conocer la cantidad de agua disponible para el crecimiento y desarrollo en el cultivo ya que puede acelerar los procesos metabólicos de los cultivos, cuando ya está cerca su recolección.

Asociar todas las variables (climáticas, edáficas, físico-químicas) que inciden en un cultivo es complejo, y no se han reportado estudios en Colombia que permita esta asociación. Por lo que se debe generar interés en iniciar proyectos de investigación que promuevan este conocimiento, con el fin de determinar cuáles variables inciden de forma directa o indirecta en el cultivo de ciruela.

Hipótesis: Las condiciones edafo-climáticas inciden en algunas características físicoquímicas que definen la calidad en cosecha del fruto de ciruela.

Objetivo general

Estudiar la influencia de algunas variables climáticas y de las características del suelo en el desarrollo del fruto de ciruela cv. Horvin y su calidad en cosecha, en el municipio de Nuevo Colón – Boyacá.

Objetivos específicos

- Determinar la temperatura base del periodo fenológico comprendido entre cuajamiento de fruto y fruto en cosecha, de los frutos de la ciruela cv. Horvin.
- Establecer las variables edáficas y climáticas que influyen en el desarrollo del fruto de la ciruela cv. Horvin.
- Determinar la influencia de las diferentes condiciones edáficas y climáticas sobre algunas de las características físico-químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela cv. Horvin, al momento de la cosecha.

1. Marco conceptual

1.1 Características del cultivo

La ciruela es una especie que puede vivir por décadas en condiciones óptimas, produciéndose de forma continua en zonas tropicales. La ciruela se considera un cultivo promisorio para el departamento de Boyacá y otros departamentos en Colombia, debido a su adaptación en zonas comprendidas entre 2100 y 2600 m de altitud. Los productos que se derivan son ciruelas deshidratadas, compotas, dulces y postres, entre otros.

1.1.1 Cultivares

Las especies de ciruela o jocote (*Spondias spp*) que producen frutos comestibles son originarias de América tropical, de las regiones del Pacífico y de algunos países asiáticos (Airy *et al.*, 1967). Únicamente dos especies de este género son nativas de México: *Spondias purpurea* L. y *S. mombin* L. var. *mombin*. Ambas se distribuyen desde México hasta Panamá junto con *S. radlkoferi* Donn. Sm (Miller, 2005). En México se distribuye a lo largo de la costa occidental de Sonora a Chiapas, así como al sur del país en Yucatán y Quintana Roo; este cultivar es un componente del estrato dominante en la selva baja caducifolia (Pennington *et al.*, 1998; Miller, 2005).

Los caducifolios, en particular la prunus, presentan diversos centros de domesticación, uno de ellos abarca desde el sur de México hasta Panamá y el otro en la parte centro-occidente de México (Miller 2005). En Colombia, el municipio de Nuevo Colón (Boyacá), ubicado en la región andina y formado por 16 veredas donde predomina la vocación agrícola (predios de minifundio) (Parra-Coronado *et al.*, 2007). Este municipio, debido a sus diferentes climas y alturas, cuenta con diversas variedades de ciruelas cultivadas como reina Claudia, fortuna, angelino, entre otras.

1.1.2 Ecofisiología

En Colombia, el cultivo de ciruela generalmente se establece con fines de comercialización, en zonas comprendidas entre 1800 y 2450 m de altitud, donde los principales productores son Boyacá y Cundinamarca (Agronet, 2014). Las diversas variedades de ciruela se caracterizan por su capacidad de adaptación en diferentes altitudes.

- **Temperatura**

En las zonas templadas o subtropicales, la ciruela ajusta su fisiología a las temperaturas de las estaciones. Las bajas temperaturas del invierno inhiben la brotación de ramas y por lo tanto de flores, sin embargo, estas se reactivan con el incremento de las temperaturas en primavera (Fischer *et al.*, 2003). Las ciruelas se adaptan a zonas donde las temperaturas se encuentran por encima de 12°C; las frutas producidas en clima frío son de mejor sabor que las producidas en climas cálidos (CRFG, 2014).

(Fischer *et al.*, 2010) indica que las heladas queman las flores, causan abortos de los frutos pequeños y de las hojas. Los frutos que no se caen presentan pardeamiento interno. Sin embargo, se ha observado que el árbol se va haciendo más resistente al frío a medida que se desarrolla.

- **Humedad relativa y vientos**

La ciruela se desarrolla en zonas climáticas con humedad relativa del 70-85% (Chaparro, 2010). Es de suma importancia la ubicación del terreno de siembra con relación a la presencia de vientos fuertes, ya que puede ocasionar la ruptura de ramas finas y propiciar la caída de flores y frutos (Calvo, 2009). Para el cuaje de los frutos se observa que los periodos secos son los más adecuados, debido a que presentan humedades relativas bajas. Los huertos con árboles en forma de cono son más sanos respecto a la Botrytis y por ende, más productivos que aquellos donde hay crecimiento libre o donde hay exceso de ramas (Parra-Coronado, 2014).

- **Requerimientos Hídricos**

El cultivo de ciruela se puede desarrollar en regiones con precipitaciones entre 700 y 2.700 mm anuales, siendo el valor óptimo alrededor de 1.000 mm (Lebedys, 2004). En climas semiáridos y subhúmedos se presenta hidroperiodicidad dependiendo de los patrones de floración, fructificación y desarrollo foliar. La floración y fructificación ocurren en época seca, mientras que el desarrollo foliar se presenta en la época de lluvias (Ruiz-Corral *et al.*, 2002). Al igual que la feijoa, los frutos de ciruela presentan tolerancia a condiciones secas. En periodos secos prolongados (estrés hídrico), la planta reacciona con interrupción en el desarrollo de las hojas (reducción del crecimiento) y retraso en la maduración de los frutos (Fischer *et al.*, 2003).

- **Radiación solar**

Los mejores resultados en floración, polinización, cuajamiento y llenado del fruto, se presentan en plantas con libre exposición a la radiación solar (1.500 horas de brillo solar por año, o más), adaptándose bien a la plena luminosidad, siempre y cuando no existan condiciones secas y temperaturas altas (Agricultura 2008; Fischer *et al.*, 2003). En el municipio de Nuevo Colon, se presentan condiciones de altas temperaturas con el “Fenómeno del Niño”, que causan quemaduras a los frutos y al área foliar.

En el cultivo de ciruela es importante la intensidad lumínica ya que, según lo que se observa en campo, los árboles que se encuentran bajo sombra tienen menos desarrollo de área foliar y producen un fruto más pequeño, en comparación a los que están recibiendo la radiación solar directa. Una alta radiación solar aumenta la actividad fotosintética de la planta, lo que contribuye a una mayor translocación de carbohidratos hacia el fruto, que incrementa los Sólidos Solubles Totales (SST), el contenido de materia seca y el ácido ascórbico (Parra-Coronado, 2014).

- **Suelos**

La ciruela se desarrolla en suelos franco-arenosos, franco-arcillosos, francos y arcillosos. Sin embargo, los mejores frutos se desarrollan en suelos con alta capacidad de drenaje

es decir, suelos poco profundos. Según lo encontrado en las zonas observadas, las plantas de ciruela con pH entre 5,0 y 6,6, son susceptibles a altos niveles freáticos y además, los altos niveles de salinidad en el suelo afectan su crecimiento.

En los municipios de Turmequé, Nuevo Colón y Villa de Leyva los huertos de duraznero, manzano, peral y ciruelo se encuentran ubicados en un paisaje de montañas con suelos superficiales, estructurales erosionales, con relieve de ligera a fuertemente quebrado, con pendiente del 7-12, 12-25 y 25-50% respectivamente, afectados por movimientos en masa (solifluxión), terracetas, reptación, erosión hídrica en grado ligero. También, los suelos están limitados por contenidos tóxicos de aluminio, bien drenados, con un pH muy fuerte a fuertemente ácido y fertilidad baja, con clima frío seco. En la zona también fueron encontrados material parental de rocas sedimentarias clásticas mixtas parcialmente cubiertas de ceniza volcánica y unidad taxonómica (símbolo MMXe1 y MMXd1) de la asociación Humic Dystrusteps - Typic Haplustalfs - Typic Haplustands (IGAC, 2005).

1.1.3 Crecimiento y desarrollo de la planta

El ciruelo es un árbol caducifolio pequeño, en cierto modo arbustivo y puede llegar hasta 7 m de alto, con tronco y ramas grisáceas o pardo-rojizas y presenta una copa casi piramidal (Hoyos, 1989). La planta de ciruela es un árbol que puede durar mucho tiempo, su etapa de producción empieza a los 5 años después de haberse sembrado, y puede llegar a producir durante 20 años, pero el deterioro en sus troncos a medida que transcurre el tiempo se va haciendo cada vez más visible. Las hojas de 3 a 8 cm de largo son sencillas, alternas, ovado/achatadas u oblongo/elípticas, usualmente aserradas o crenatas.

- **Sistema radical**

El sistema radical se desarrolla dentro de 50-60 cm de profundidad. Dependiendo del tipo de suelo, las raíces son de color naranja claro y con el tiempo se oscurecen y presentan grandes lenticelas (Bassi, 2008). Por otro lado, en sistemas de producción continua las

temperaturas del suelo no deben bajar de los 10°C para que las raíces no reduzcan su actividad (Erez, 1986; Bassi, 2008).

- **Follaje**

Las hojas de ciruela tienen entre 2 y 7 cm de largo, son de color verde, de forma sencilla, alterna, ovalada y elíptica. Generalmente las ramas son abiertas, la hoja es caduca y posee un borde aserrado con ápice agudo y son alargadas, a excepción del nervio central en el envés (Vargas, 2011).

- **Flores**

Las yemas reproductivas y vegetativas se encuentran separadas. Las yemas florales se producen en ramas de 1 año o sobre ramas cortas de madera de varios años. Las flores usualmente son blancas, períginas, solitarias o en grupo, en su mayoría, de dos a cinco flores con pedicelos largos, cinco sépalos y pétalos, un carpelo singular y numerosos estambres (Jackson, 1999). La yema floral abre algunos días antes que la yema vegetativa. Según Ryugo (1993), un árbol maduro puede producir hasta 100.000 flores, de las cuales solamente el 1% debe cuajar para una cosecha económica, siendo en muchos casos necesario el raleo químico o manual.

Los requerimientos de polinización en los ciruelos son variables y complicados. Algunos cultivares son auto fértiles mientras que otros requieren una variedad polinizadora específica (Jackson, 1999; Ryugo, 1993). Los ciruelos japoneses como Santa Rosa y Beauty se clasifican en su mayoría como auto incompatibles en contraste con la variedad Climax clasificada como parcial o completamente auto fértil.

- **Fruto**

El fruto es una drupa glabra que presenta normalmente cera (pruina) en la piel. La longitud del fruto oscila entre 2 y 8 cm y su forma puede ser globosa, oblonga o elíptica. Los colores pueden ser azul/morado, rojo/rosado o amarillo/verde (Baugher, 2003).

El crecimiento del fruto presenta una curva doble-sigmoide y el hueso (embrión) madura durante el estancamiento del crecimiento de la pulpa (Jackson, 1999). En el municipio de Nuevo Colón, Boyacá el ciclo desde el cuaje hasta la cosecha o madurez fisiológica, es de 82 días según los agricultores de la zona; los frutos se van desarrollando paulatinamente hasta el día 60. Se puede obtener un peso aproximado de 25 kg por árbol, con tres cosechas anuales, para un rendimiento total anual de 60 t ha⁻¹. Cabe anotar que los datos, suministrados por los agricultores de la zona, son para árboles no mayores a diez años en su etapa de producción.

1.1.4 Características nutraceuticas

“El principal componente de las ciruelas es el agua, seguido de los hidratos de carbono, entre los que destaca la presencia de sorbitol, de leve acción laxante. El aporte de vitaminas no es relevante, aunque destaca su contenido moderado en provitamina A (más abundante en las de color oscuro) y vitamina E (interviene en la estabilidad de las células sanguíneas y en la fertilidad), ambas de acción antioxidante. La provitamina o beta caroteno se transforma en vitamina A en nuestro organismo conforme éste lo necesita. La vitamina A es esencial para la visión, el buen estado de la piel, el cabello, las mucosas, los huesos y para el buen funcionamiento del sistema inmunológico. En lo que se refiere a su contenido de minerales, son ricas en potasio. El potasio, es un mineral necesario para la transmisión y generación del impulso nervioso y para la actividad muscular normal, interviene en el equilibrio de agua dentro y fuera de la célula. Se caracterizan por poseer antocianinas (pigmentos de acción antioxidante y antiséptico) y ácido málico. Este ácido orgánico forma parte del pigmento vegetal que proporciona sabor a la fruta. Así mismo, su abundancia de fibra y otros componentes laxantes (sorbitol y derivados de la hifroxifenilxantina), mejora el tránsito intestinal. La ciruela es muy rica en antocianinas que le proporcionan su color característico (sobre todo apreciable en las variedades de tonos rojos y morados). Desde el punto de vista de la salud, los antocianinas tienen acción antioxidante y antiséptica, para combatir procesos infecciosos”. Los antioxidantes bloquean el efecto dañino de los denominados "radicales libres" (Eroski Consumer, 2014).

“Lo que en realidad destaca de las ciruelas es su acción laxante, debido al contenido de fibra, de sorbitol (un tipo de azúcar) y de derivados de la hifroxifenilxantina, sustancias que estimulan la actividad de los músculos del colon. Esto explica su uso tradicional como laxante en caso de estreñimiento. Un desayuno ideal para combatir el estreñimiento y proteger la mucosa del intestino, debe contener ciruelas frescas, secas, en compota o en forma de mermelada”. (Eroski Consumer, 2014).

Según Eroski Consumer (2014): “Las ciruelas constituyen un laxante ideal para todas las personas, especialmente para los niños, los ancianos y las mujeres embarazadas, que con frecuencia presentan estreñimiento. El uso continuado de las ciruelas frescas en verano y desecadas o en forma de mermelada el resto del año, contribuye a vencer el intestino perezoso y a reeducar la función intestinal. La fibra soluble de las ciruelas, además de mejorar el tránsito intestinal, tiene la capacidad de retener agua, por lo que se hincha en el estómago formando un gel, lo que reduce la velocidad de vaciamiento gástrico y la velocidad de absorción de los hidratos de carbono. Esto las convierte en frutas útiles en regímenes de adelgazamiento, ya que su consumo produce sensación de saciedad, aunque consumidas con medida, por su abundancia de hidratos de carbono, lo que también han de tener en cuenta las personas que tienen diabetes. Además, la fibra soluble forma un gel viscoso que fija la grasa y el colesterol, con lo que disminuye la absorción de dichas sustancias. Esto es positivo en caso de hipercolesterolemia. El ácido oxálico que contienen las ciruelas moradas puede formar sales con ciertos minerales como el calcio y formar oxalato cálcico, por lo que su consumo se ha de tener en cuenta si se padecen este tipo de cálculos renales, ya que se podría agravar la situación”.

1.1.5 Producción

En Colombia, el área cosechada de frutales de hoja caduca (duraznos-melocotón, ciruelas, peras y manzanas) en 2010 correspondió a 5.382 ha, con un área porcentual de 36,3, 32,7, 26,9 y 3,9%, respectivamente. Los frutales caducifolios para 2010 presentaron un incremento del 36,4% respecto al área cosechada, en comparación con el año anterior. Los principales aumentos para el año 2010 fueron registrados principalmente por manzanas (55%), duraznos-melocotón (40%) y peras (31%), en contraste al área

cosechada de cada especie en 2009. La producción de frutales de hoja caduca en 2010 fue de 52.984 t, lo cual corresponde a un aumento del 17,4% en el volumen de producción en comparación al año 2009. La producción porcentual de duraznos-melocotón, ciruelas, peras y manzanas para el año 2010 fue 38,7; 26,9; 31,1 y 3,2%, respectivamente. Donde, los principales aumentos porcentuales en volumen de producción en 2010 fueron registrados por melocotón y durazno (77%), pera (75%) y manzana (64%), en comparación al volumen de 2009 (FAOSTAT, 2012).

A nivel nacional, el departamento de Boyacá cuenta con aproximadamente 3.000 ha plantadas de cultivos de frutales caducifolios (peral, duraznero, ciruelo y manzano), (Puentes 2006), mientras que en el departamento de Caldas, se encuentran establecidas aproximadamente 310 ha cultivadas de los mismos (Botero & Morales, 2000).

Boyacá es considerado el departamento más importante en la explotación de los cultivos de caducifolios en el país, debido a las ventajas comparativas que posee, entre las cuales se pueden mencionar clima, suelos, precipitación, acumulación de horas frío, vocación frutícola de los productores y experiencia acumulada por más de 50 años (Puentes, 2006). El sistema de producción de frutales caducifolios en este departamento se enmarca básicamente en el subsector de la economía campesina, con predominio de pequeñas agro empresas con extensiones de 2,8 ha en promedio. En la actualidad, la importancia de Boyacá en la explotación de los cultivos de caducifolios en el sector nacional, ha tenido avances importantes en lo que respecta a manejo empresarial, introducción de nuevas variedades, innovaciones tecnológicas, infraestructura de riego, mentalidad de trabajo asociativo, mayores extensiones, planificación de cultivos teniendo en cuenta los requerimientos del mercado, y el trabajo bajo el enfoque de cadena productiva. Una de las prácticas que se constituye como factor fundamental, para que la explotación de caducifolios sea rentable, es la programación de las cosechas, práctica que consiste en obligar a los frutales a producir en épocas diferentes a las comunes mediante el manejo de variables de producción (Puentes, 2008).

1.1.6 Cambios fisiológicos a través de la cosecha

Según Mercado *et al.*, (1998), en los frutos hay un cambio que conlleva a la degradación que genera una etapa de senescencia. Estas modificaciones pueden ser genéticas y debido a ello son muy variables en las diversas especies. Físicamente sufren cambios en peso, tamaño, color, entre otras, como también lo sufren estructuralmente en la cantidad de azúcares y turgencia. Estas características van a ser las responsables de determinar la calidad en los frutos de ciruela.

- **Intensidad respiratoria (IR)**

Las ciruelas son frutos climatéricos caracterizados por tener la capacidad de continuar el proceso de maduración después de ser cosechados, debido a que presentan un rápido incremento en la actividad respiratoria y su producción de etileno continua después de la cosecha. Kays (2004) y O'Connel (1976), reportan que las frutas inician una serie de cambios una vez son cosechadas, debido a la actividad enzimática y síntesis de proteínas, que en el caso de productos climatéricos afecta directamente el proceso de maduración. El cosechar tempranamente aumenta de manera significativa las pérdidas en el rendimiento, pues en los últimos días de desarrollo la ciruela crece rápidamente hasta alcanzar la madurez fisiológica, y a menudo no desarrolla sabores aceptables (Parra-Coronado, 2007).

Cambios físicos

- **Firmeza de fruto**

La firmeza es un atributo de la textura de las frutas y vegetales que está relacionada con el punto de cosecha, la calidad para su comercialización y el procesamiento. Este atributo está ligado con los cambios físico-químicos y estructurales del material biológico (Mohsenin 2002). Es deseable que las frutas, una vez cosechadas, mantengan un alto grado de resistencia mecánica para protegerlas de los daños durante su manipulación posterior a la cosecha. Se puede medir la firmeza de la pulpa con un Penetrómetro para

determinar un índice de madurez máxima, que representa la etapa en la que se puede cosechar la fruta sin llevar a daños por magulladuras en el manejo de poscosecha. (Crisosto *et al.*, 2004).

Debido a que la ciruela es perecedera, es importante trabajar en asegurar su calidad durante el crecimiento, la recolección, el embalaje, almacenamiento, transporte y distribución hasta el consumidor. Un fruto firme es signo de frescura y permite asegurar un mayor período de almacenamiento y una mejor llegada a destino. Por el contrario, se sabe que el ablandamiento aumenta la susceptibilidad al daño mecánico y al ataque de patógenos (Vargas, 2011).

- **Cambio de color**

Según (Mercado-Silva *et al.*, 1998), el cambio de color durante la poscosecha se presenta por degradación de la clorofila y por la síntesis de otros pigmentos como antocianinas y carotenoides. (Hernández *et al.*, 2007), indican que el color medido como ángulo Hue ($^{\circ}h$) representa el color o tonalidad, que varía de 0° en color rojo puro a 180° en color verde puro.

El color es uno de los parámetros que más cambia durante la maduración, pues es el índice de madurez más utilizado en la cosecha y comercialización del fruto de ciruela (Verma, & Joshi, 2000). El etileno es el responsable de acelerar los cambios de color relacionados con la producción de pigmentos antocianos y la pérdida de clorofila, así como de incrementar la producción de aromas en los frutos (Montalvo-González, *et al.*, 2009), La cianidin-3-galactosidasa es la principal antocianina responsable de la coloración de los frutos de ciruela durante la maduración (Paliyath *et al.*, 2008), por tanto, un rápido desarrollo del color característico puede producir una calidad aceptable en el fruto.

Cambios bioquímicos

- **Sólidos solubles totales (SST)**

Los carbohidratos, en particular los azúcares, son constituyentes muy importantes en las plantas ya que forman parte de la estructura de las células y funcionan como reservas de energía. Algunos carbohidratos simples como sacarosa y fructosa, se consideran atributos de calidad de algunos productos como las frutas (Solarte *et al.*, 2010). Las cinco frutas más bajas en almidón son las cerezas, el pomelo, la pera, la ciruela y la manzana (Livestrong, 2015).

Cuando la ciruela es cosechada, la relación sólidos solubles totales sobre la acidez titulable es importante. Según Parra-Coronado *et al.* (2008), esta relación aumenta a medida que pasa el tiempo de almacenamiento, lo que indica que este parámetro, aunque está asociado con el sabor y la calidad de los frutos, no podría ayudar a determinar el punto de cosecha de forma precisa (Crisosto *et al.*, 2004).

- **Acidez total titulable (ATT)**

La acidez total titulable (ATT) disminuye a medida que los frutos de ciruela se desarrollan y crecen en la planta. Esta afirmación la sustenta la correlación inversa existente entre el tamaño y el peso del producto, y su ATT durante el periodo de pre cosecha. De igual manera, entre la relación SST/ATT y la ATT, indica que a medida que el fruto madura, su acidez titulable disminuye. La pérdida de turgencia de los frutos a medida que estos crecen, permite establecer una relación directa entre la variación de la firmeza y la acidez total titulable; a medida que el fruto crece, disminuye su firmeza y su acidez titulable (Parra-Coronado *et al.*, 2007).

1.2 Influencia de las condiciones climáticas en la calidad

La calidad es un conjunto de características que pueden ser evaluadas de manera objetiva o subjetiva. Generalmente, son propias de los sentidos del hombre tales como tacto, olfato o vista, estos son asociados al concepto que cada uno asume de calidad. Por lo general, hay una comparación entre unas características y otras (color, textura, forma, tamaño,). El color, al igual que el tamaño, son características principales a la hora de determinar si la calidad es o no aceptable. Pocas veces se tienen en cuenta parámetros que nos son visibles, como el sabor.

Según el concepto anterior, la apariencia es un indicador que tiene el consumidor de separar cualitativamente un producto. Estudios realizados han demostrado que según las condiciones climáticas a las cuales estuvo sometido un cultivo, se verá reflejado en la calidad al momento de la cosecha. Los factores ambientales que presentan mayor influencia sobre la calidad de los productos hortofrutícolas en el momento de la cosecha son la temperatura, la luz, la altitud, las lluvias, el viento y la textura del suelo (Hewett, 2006).

1.2.1 Influencia de la temperatura ambiente

Cuando las frutas y hortalizas sufren un aumento en su temperatura ambiente o exposición de altos niveles de dióxido de carbono y oxígeno, se alteran características fisiológicas como ácidos, contenidos de azúcar, la actividad antioxidante y la firmeza (Moretti *et al.*, 2009). La temperatura, además de la influencia que ejerce sobre la respiración, también puede causar daño al producto mismo. Si el producto se mantiene a una temperatura superior a los 40°C, se dañan los tejidos, y a los 60°C toda la actividad enzimática se destruye, quedando el producto muerto. El daño causado por la alta temperatura se caracteriza por sabores alcohólicos desagradables, generalmente como resultado de reacciones de fermentación y de una degradación de la textura del tejido (FAO, 2016).

1.2.2 Influencia de la intensidad y duración de la luz

Como lo manifiesta Parra-Coronado (2014 La duración, intensidad y calidad de la luz inciden de manera directa en la calidad del producto en la cosecha”. Entre más baja sea la intensidad luminosa, más adecuado será para los frutos en cosecha, debido a que la pérdida de peso y turgencia es evidente en campo. De igual forma se alteran las características fisiológicas como cantidad de ácido y color, entre otras. La influencia de la intensidad también se ve reflejada en el área foliar y en los suelos de cultivos por lo cual, se debe tener en cuenta las horas de luz para efectos de calidad a lo largo de la cosecha.

Los productos hortofrutícolas pueden presentar alteraciones en su apariencia, como consecuencia de luz insuficiente o exceso de ella. De acuerdo con Weston, & Barth (1997), la intensidad de la luz puede tener profundos efectos en la calidad a lo largo del tiempo. Según Kays (1999), el color es una función de la luz que incide sobre el producto, de la reflexión diferencial de ciertas longitudes de onda y de su percepción visual. La percepción de los colores se debe a la presencia de pigmentos en el producto, algunos de los cuales pueden ser importantes en una gama de reacciones que generan lesiones

y pérdida de la resistencia organizacional entre los sustratos y enzimas en la célula, como por ejemplo, moretones y rupturas en las frutas. El color se utiliza como criterio principal para evaluar la calidad general de muchos productos, pero la calidad y el color no necesariamente se correlacionan estrechamente entre sí. En algunos casos, la asociación entre lo que se percibe como el color óptimo y una calidad óptima no es del todo válida (Parra-Coronado, 2014).

1.3 Influencia de las diferentes condiciones edáficas

La selección de cultivo según condiciones edáficas parte del listado de posibles cultivos de acuerdo a la selección agroclimática, para analizar cada uno de acuerdo a las exigencias de suelos. Esta selección se hace teniendo la capacidad de uso de la tierra

como punto de partida y posteriormente, considerar las características propias de los suelos con base en sus limitaciones químicas y físicas (IICA, 1993).

En ambiente natural los principales factores formadores de la estructura son la textura, materia orgánica, organismos del suelo, profundidad de la lámina de agua y condiciones climáticas (Kooistra, 1994), con fuerzas involucradas en su formación durante el humedecimiento y secado que se incrementan con el contenido de arcilla (Dexter, 1988).

1.3.1 Variables edáficas que afectan el suelo

Composición física del suelo

- **Textura**

La condición física de un suelo determina la rigidez y la fuerza de sostenimiento, la facilidad para la penetración de las raíces, la aireación, la capacidad de drenaje y de almacenamiento de agua, la plasticidad y la retención de nutrientes. Es necesario conocer las propiedades físicas del suelo, para entender en qué medida y cómo influyen en el crecimiento de las plantas (Rucks *et al.*, 2004).

La textura representa el porcentaje en que se encuentran los elementos que constituyen el suelo (arena, limo y arcilla). Se dice que un suelo tiene una buena textura cuando la proporción de los elementos que lo constituyen le dan la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición. Hace unos años se empleaba para esta estimación la expresión de análisis físico, la cual aún es utilizada pero con un sentido más global, al incluir el análisis granulométrico y otros atributos cuya interpretación permite hacerse una idea de cómo se encuentran las propiedades físicas del suelo (Rucks *et al.*, 2004).

Normalmente la composición mineralógica de las fracciones arena y limo se considera separadamente de la fracción de arcilla. Esta distinción resulta de las diferencias marcadas en composición mineralógica y en consecuencia, los métodos usados para la determinación de la mineralogía son por un lado, de la arena y limo y por otro, de la arcilla. Las partículas de arena más bastas son casi siempre fragmentos de roca, sobre todo de cuarzo, además existen cantidades variables de otros minerales primarios. Por otra parte, en la fracción arcilla se encuentran generalmente diversos minerales secundarios. En esta fracción, convencionalmente se puede clasificar en silicatos y no silicatos. Los silicatos incluyen la caolinita, montmorillonita, illita, vermiculita y alofán, entre otros. La variación que existe entre estos grupos de arcillas en plasticidad, cohesión, adhesión, capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades, es muy grande. Por eso, es de considerable importancia el saber qué tipo de arcilla predomina en un suelo y cuáles coexisten. Los no filosilicatos incluyen cuarzo, otras formas de sílice (SiO_2), óxidos e hidróxidos de hierro, tales como hematita o goethita; óxidos e hidróxidos de aluminio tales como gibbsita, así como carbonato de calcio. Parte del material mineral de la arcilla de los suelos es cristalino y parte amorfo (Rucks *et al.*, 2004).

- **Curvas de retención de humedad**

La curva de retención de agua es una de los atributos más importante de todas las propiedades hidráulicas del suelo (Nielsen & Wendroth, 2003). Su conocimiento es necesario en estudios de disponibilidad de agua para las plantas, procesos de infiltración y drenaje, distribución de poros, conductividad de agua y el movimiento de solutos. Las curvas de retención y humedad son importantes en investigaciones acerca de las consecuencias del cambio climático (Walczak *et al.*, 2002). En su determinación se emplean tanto métodos directos como indirectos. Relacionado con los métodos directos, su mayor inconveniente se asocia a los costos en materia de tiempo, esfuerzo y recursos (García, 2009).

Composición química del suelo.

Desde el punto de vista general, la composición elemental de los suelos varía de acuerdo a la naturaleza de la roca madre y los cambios producidos durante la meteorización,

acumulación de materia orgánica y prácticas de manejo. Un factor importante es la movilidad relativa de los distintos elementos, que determinan pérdidas diferenciales durante los procesos de meteorización y formación del suelo. Así, el SiO_2 es el constituyente más abundante en las rocas ígneas y en la mayoría de los suelos. En cambio las bases Ca, Mg, K y Na presentan porcentajes más bajos en los suelos que en las rocas ígneas, debido a su remoción preferencial durante la meteorización. Las fracciones del suelo no son uniformes en composición química, como se puede deducir de las diferencias que presentan en composición mineralógica. Debido a que el cuarzo (SiO_2) es dominante en la arena y limo, estas dos fracciones son, por lo general, inactivas químicamente. Incluso los minerales primarios que pueden contener elementos nutrientes en su composición química son tan insolubles como para hacer esencialmente nula o retardada su asimilación. Una excepción a esta regla general, es la fracción de algunos limos que contienen minerales de potasio, tales como las micas, las cuales liberan K al menos en cierta parte de la planta. Químicamente las arcillas son silicatos lumínicos que pueden tener Fe, Mg, Na, K u otros cationes en su estructura y que poseen la capacidad de adsorber y ceder una serie de iones. Esto nos lleva a concluir que las arenas, formadas esencialmente por cuarzo, tengan menor contenido de nutrientes (Ryugo, 1993).

- **pH**

En general, el pH óptimo de los suelos agrícolas debe variar entre 6,5 y 7,0 para obtener los mejores rendimientos y una mayor productividad (Prasad, 1997). El pH de un suelo ácido se puede mejorar gradualmente mediante una aplicación de cal (Havlin *et al.*, 2005). El pH del suelo influye en la disponibilidad de los nutrimentos para las plantas, es decir, este factor puede ser la causa de que se presente deficiencia, toxicidad o que los elementos no se encuentren en niveles adecuados (Benton, 2003).

La práctica más utilizada para corregir el pH ácido del suelo es el encalado, con el cual se logra establecer un ambiente propicio en la raíz para el desarrollo normal de los cultivos (Benton, 2003). Tomando en cuenta el efecto del pH sobre la productividad de los cultivos, es importante no solo su determinación en el suelo, sino también conocer y

cuantificar las superficies afectadas por valores extremos a este factor (Brejda *et al.*, 2000).

- **Acidez intercambiable**

Según Fassbender, (1975) " La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de H^+ y Al^{+3} que causan una disminución en el pH. Se ha comprobado que en algunos suelos el Al^{+3} es el catión dominante asociado con su acidez. Por tanto, la acidez intercambiable está formada por $Al^{+3} + H^+$ en diferentes proporciones. La alta concentración de Al^{+3} genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como en la solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos. También afecta propiedades físicas, como estructura y estabilidad de agregados, y algunas biológicas, como tipos de organismos presentes en el suelo. Esta condición ocasiona una reducción en el crecimiento de las raíces y afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo. Además, reduce la calidad de las cosechas e induce deficiencias nutricionales de Ca, Mg, P, S y Zn entre otros, por lo cual es indispensable conocer la acidez intercambiable de los suelos y relacionarla con el pH, textura y materia orgánica".

El factor más perjudicial para las plantas en suelos fuertemente ácidos es la toxicidad de Aluminio (Al^{+3}), particularmente cuando el pH es inferior a 5,0. La toxicidad del Al^{+3} también limita la degradación microbiana de la materia orgánica. El pH en el cual los niveles de Al^{+3} alcanzan valores perjudiciales depende tanto de la planta como de factores del suelo, como la mineralogía de las arcillas, el contenido de materia orgánica, la concentración de otros cationes y aniones y la salinidad total del suelo. En este caso la proporción de Al^{+3} en el complejo de cambio y en la solución del suelo, llega a concentraciones que producen síntomas característicos en cada una de las especies vegetales. Estos síntomas se parecen con frecuencia, a los problemas que se dan por deficiencias de P y Ca. Se sabe que las plantas jóvenes son particularmente sensibles a la acidez (Fassbender 1987).

De acuerdo con Foth (1985), el efecto neto de la hidrólisis por Al^{+3} intercambiable es un incremento en la concentración de H^+ de la solución de suelo, que resulta de la disociación de H^+ intercambiable. La presencia de Ca, Mg, K y Na, denominadas bases, son los elementos que neutralizan las cargas negativas del suelo, y por tanto, neutralizan la acidez del suelo.

El Na en exceso puede causar toxicidad. La CIC es igual a la suma de las bases intercambiables y de la acidez intercambiable (Arévalo, 2008). El contenido mineral de los materiales de origen es de particular importancia en la determinación de los niveles de fertilidad en los suelos. La transformación de la roca madre produce cambios, pero siempre la naturaleza del material de origen influirá grandemente en las características del suelo (Cepeda, 2007).

- **Carbono orgánico**

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biósfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo (Lal, 1997). Se estima que desde que se incorporan nuevos suelos a la agricultura, hasta establecer sistemas intensivos de cultivo, se producen pérdidas de COS que fluctúan entre 30 y 50% del nivel inicial (Reicosky, 2002). La pérdida de material húmico de los suelos cultivados es superior a la tasa de formación de humus de suelos no perturbados, por lo que el suelo, bajo condiciones de cultivo convencionales, es una fuente de CO_2 para la atmósfera (Kern, 1993).

Existen prácticas agronómicas que favorecen la captura de C en el suelo (West *et al.*, 2002), como la labranza de conservación (Lal, 1997), que incluye la labranza cero (FAO, 2001), la cual es un sistema de manejo de suelos con alta capacidad potencial para capturar C en el suelo (Rasmussen, 1994). El COS afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo vinculadas con su calidad (Wander *et al.*, 2002), sustentabilidad (Carter, 2002) y capacidad productiva (Sánchez, 2004), por lo que en un

manejo sustentable, el COS debe mantenerse o aumentarse. Sin embargo, establecer una clara relación de dependencia entre el COS y la productividad del suelo es complejo (Moreno, 1999). Pese a la existencia de abundante literatura que documenta los efectos del COS sobre las propiedades del suelo que favorecen el desarrollo de los cultivos, existe poca información sobre la contribución directa de un aumento de COS en la productividad del suelo.

El Carbono orgánico del suelo se encuentra en forma de residuos orgánicos poco alterados de vegetales, animales y microorganismos, en forma de humus y en formas muy condensadas de composición próxima al C elemental (Jackson, 1964). En condiciones naturales, el COS resulta del balance entre la incorporación al suelo del material orgánico fresco y la salida de C del suelo en forma de CO₂ a la atmósfera (Swift, 1979), en procesos de erosión y lixiviación. Cuando los suelos tienen condiciones aeróbicas, una parte importante del carbono que ingresa al suelo es lábil y se mineraliza rápidamente mientras que una pequeña fracción se acumula como humus estable (FAO, 2001). El CO₂ emitido desde el suelo a la atmósfera no solo se produce por la mineralización de la MOS donde participa no solo la fauna edáfica (organismos detritívoros) y los microorganismos del suelo, sino también se genera por el metabolismo de las raíces de las plantas (Fortin, 1996).

- **Efectos de la compactación en suelos**

La compactación de suelos es uno de los procesos de degradación física más común en suelos agrícolas altamente productivos y una de las causas de la reducción de la productividad. Bajo esta perspectiva, se justifica el desarrollo de metodologías que permitan estimar los riesgos de compactación de los suelos, para así prevenir o mitigar sus efectos adversos (Willians, 2010).

El sistema denso y profundo es una ventaja debido a que le permite a la planta ciertas condiciones adversas, entre ellos los periodos de sequía (Bamford & Carr, 1991).

Las condiciones para que la raíz forme un sistema con esas características, son aquellas que le permitan a la planta expresar completamente su potencial genético, así que el sistema aéreo pueda desarrollarse y fotosintetizar a la máxima tasa posible. Estas

condiciones favorables implican que el ambiente radical sea bien aireado y suplido con una adecuada cantidad de agua y nutrimentos para la planta, además de otras condiciones de suelo y clima (Russel, 1973).

La habilidad de la raíz para encontrar espacio en el cual crecer o forzar su camino en el suelo, es a veces el factor limitante más importante para el crecimiento de la planta (Russell, 1973).

- **Análisis de los factores que propician el surgimiento y desarrollo de la compactación**

La naturaleza geológica del suelo caracteriza sus propiedades físicas y mecánicas, las cuales influyen en su compresibilidad y compactibilidad, estas dependen de la textura, estructura, el contenido de materia orgánica y contenido de agua del suelo (Alakukku *et al.*, 2003). La compresibilidad del suelo se refiere a la facilidad con la cual decrece en volumen, cuando está soportando una presión aplicada. Esta es una propiedad del suelo y es análoga al índice de su compresión (Gupta *et al.*, 1987).

La compactibilidad del suelo es la máxima densidad de volumen a la cual éste puede ser comprimido por una cantidad de energía dada. La compactibilidad aumenta con el contenido de humedad. Si la aplicación de presiones al suelo aumenta, la compactación será directamente proporcional. Al valor de humedad crítica, la densidad de volumen del suelo también alcanza su máximo valor. En este intervalo los poros del suelo están ocupados por aire y agua, aumentando la presencia de ésta última, a medida que el suelo se acerca a la humedad crítica de compactación. Según González *et al.* (2008), “La adición de agua incrementa la cohesión, y origina un efecto de lubricación entre las partículas el cual permite que estas sean realineadas más fácilmente; durante el proceso de compresión el aire puede ser desalojado de los poros, favoreciendo la compactación”.

Si las mismas presiones se aplican a humedades mayores a la humedad crítica, la densidad de volumen resultante será inferior al primer caso. Una mayor presencia de agua en los poros disminuye la cohesión y, debido a la rapidez con que se realiza el tránsito de la máquina agrícola y a la incompresibilidad del agua, resulta difícil desalojarla

de los poros, lo que disminuye la capacidad de acercamiento y empaquetamiento de las partículas del suelo, lo cual provoca menor cambio de volumen. La humedad del suelo es el factor que mayor influencia tiene en la compactación (Berli, 2001). Durante las labores agrícolas es deseable que la humedad del suelo sea inferior al límite plástico (LP); varios autores consideran que el contenido de humedad más apropiado es de 0,8 a 0,95 LP (Keller, 2004).

El contenido de materia orgánica mejora la estructura del suelo y contribuye a disminuir su compactibilidad. Al mismo tiempo, favorece la formación y estabilidad de agregados, aumenta la porosidad total, disminuye la densidad de volumen, mejora la actividad biológica del suelo y propicia que el suelo retenga mayor humedad. Además, incrementa los límites de consistencia del suelo, aumentando el intervalo de humedad al cual se puede trabajar el suelo.

La compactibilidad está influenciada no solo por el contenido de materia orgánica, sino además por su tipo, ya que el material parcialmente descompuesto y altamente humidificado incrementa la resistencia del suelo a la compactación. Otros factores naturales que influyen en la compactación son la fuerza de gravedad, la lluvia y los ciclos de secado del suelo y humedecimiento. Este último, favorece una disminución de la densidad de volumen, debido a que la presencia de agua en los poros amortigua y dificulta el acercamiento de las partículas del mismo, estos se expanden y disminuye el efecto de la compactación. Durante el proceso de secado se contrae el suelo, disminuye su volumen y se favorece el incremento de la densidad. Los suelos arcillosos son más susceptibles a los ciclos de humedecimiento y secado (Hamza & Anderson, 2005). La compactación del suelo no siempre es perjudicial, durante la siembra es necesaria una cierta compactación para que la semilla tenga un contacto adecuado, facilitando el acceso del aire a la raíz y a los nutrientes del suelo.

2. Temperatura base para un estado fenológico de la ciruela variedad Horvin (*Prunus doméstica* L).

2.1 RESUMEN

El cultivo de ciruela (*Prunus doméstica* L) es afectado por la cantidad de agua proporcionada en su entorno, condicionada por factores climáticos, especialmente la temperatura. El desarrollo del fruto, en términos de tiempo fisiológico o grados-día de crecimiento (GDC), es más preciso que su cuantificación en términos de fechas de programación de cultivo. El objetivo de este capítulo fue determinar la temperatura base (T_b) del periodo fenológico comprendido entre cuaje de fruto y fruto en cosecha de la ciruela variedad Horvin, y expresar su duración en términos de GDC para poder determinar la fecha de cosecha. Se marcaron veinte árboles por localidad, a cuatro altitudes diferentes: 2449, 2285, 2215 y 2195 m.s.n.m., en el municipio de Nuevo Colon Boyacá. Durante los años 2015 y 2016, se hizo el registro de las fechas de aparición de cuaje de fruto y cosecha. Se estimó T_b usando diferentes métodos, así como los GDC requeridos para ir de cuaje de fruto a cosecha. La varianza mostro el mejor ajuste estadístico entre coeficiente de variación y desviación estándar para la estimación de T_b , mostrando un alto grado de correlación. La T_b para este periodo fenológico fue de 2,9 °C. Los resultados mostraron que se requiere una media de 1528 GDC y de 81 días para llegar desde cuaje hasta la cosecha del fruto.

Palabras claves: grados día de crecimiento, varianza, factores climáticos.

2.2 INTRODUCCION

En el desarrollo de varios cultivos intervienen los niveles térmicos de forma parcial y en algunos casos total (Medina-Torres 2000). La fenología estudia las fechas de comienzo y de terminación de las diferentes fases del desarrollo de las plantas registrándolas en orden cronológico, haciendo estas observaciones en muchos lugares durante varios años para obtener datos confiables (Parra-Coronado 2015; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013). Es importante registrar los datos cuantitativos relacionados con el desarrollo como tamaño, peso, volumen, composición química y rendimiento obtenido.

De acuerdo con Quintero (2016) “Las investigaciones fenológicas realizadas por largas temporadas permitirán establecer conclusiones útiles, al conocerse las fechas probables de las diferentes fases del desarrollo, la duración de los diferentes sub-períodos, y la frecuencia de ocurrencia de los fenómenos biológicos”. Es importante conocer el inicio y el final de las etapas fenológicas debido a que son indicadores de desarrollo en un cultivo y permiten conocer la adaptación de las especies en determinadas condiciones, y finalmente decidir qué prácticas se pueden llevar a cabo (Parra-Coronado, 2015).

Generalmente el tiempo calendario es el más utilizado para la predicción del crecimiento y desarrollo del cultivo. Se han propuesto varios modelos para mejorar la interpretación del tiempo calendario, los cuales hacen una descripción del efecto de la temperatura sobre el desarrollo fenológico (Parra-Coronado, 2015). Entre los métodos más reconocidos y utilizados se encuentra la acumulación de temperatura media diaria, generalmente encontrada por encima de la temperatura base para cada estado fenológico, conocido como tiempo térmico o grados día de crecimiento (GDC), unidades de calor o tiempo fisiológico (Parra-Coronado, 2015; López *et al.*, 2010), y se define

como la cantidad de grados día necesarios para finalizar una fase fenológica (Trudgill *et al.*, 2005). Las plantas tienen requisitos específicos de temperatura para cada uno de los diferentes estados fenológicos (Sikder 2009).

De acuerdo con Parra-Coronado (2015), existen diferentes métodos para calcular los GDC, pero el más utilizado en las investigaciones agrícolas y fenológicas consiste en calcularlo como la suma de la diferencia entre la temperatura media y la T_b , para lo cual la temperatura media se calcula como la media de las temperaturas mínimas y máximas diarias (Matzarakis *et al.*, 2007). El método de GDC es el más preciso para describir el desarrollo, ya que es independiente de las condiciones ambientales y del tiempo calendario (Parra-Coronado 2015; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013). Para la determinación de los GDC es indispensable la determinación de la temperatura crítica o temperatura base (T_b), por debajo de la cual no habrá desarrollo fenológico y por lo tanto, cesan los procesos metabólicos de las plantas (Parra-Coronado, 2015; Salazar, 2006). La exactitud en el uso del tiempo térmico para predecir la fecha de aparición de diferentes estados fenológicos depende parcialmente de la exactitud con que se determine la temperatura base (Parra-Coronado, 2015; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013).

Según Parra-Coronado (2015) “supone que cada fase de desarrollo puede tener una temperatura base diferente y la temperatura base debe ser similar para una determinada etapa de desarrollo del cultivo para cualquier período”. Varios métodos estadísticos pueden ser utilizados para la estimación de T_b en GDC, tales como: la menor desviación estándar (SD), la menor SD en días, la menor varianza (VAR), el menor coeficiente de variación (CV) y regresión lineal utilizando el coeficiente de regresión y los métodos de intercepto en x. Estadísticamente, la temperatura base es la que resulta en la menor variación de la acumulación de GDC (tiempo térmico o fisiológico) que es una medida del calor que se ha acumulado en el tiempo (Parra-Coronado 2015; Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 1995). La temperatura acumulada es ahora reconocida por diferentes autores, como el principal factor que influye en la variación de la fenología; el desarrollo fenológico será más rápido a medida que aumenten las temperaturas, lo cual implica que el período de crecimiento será más corto (Asseng & Foster, 2011). A través de diferentes investigaciones se ha demostrado que los GDC acumulados para alcanzar los diferentes estados fenológicos, difieren de cultivar a cultivar (Trudgill *et al.*, 2005).

Diferentes autores han estimado los requerimientos de acumulación térmica teniendo en cuenta la temperatura base (T_b) necesaria para alcanzar los distintos estados fenológicos de cultivos como tomates (Zotarelli *et al.*, 2009), durazno y ciruelo (Medina, 2000), naranjo (Stenzel *et al.*, 2006), feijoa (Parra-Coronado, 2015), uchuva (Salazar *et al.*, 2008), lulo (Pulido 2008), maíz (Ruiz-Corral *et al.*, 2002), trigo (Salazar-Gutiérrez *et al.*, 2013), entre otros.

La ciruela es considerada como uno de los cultivos promisorios para el departamento de Boyacá y en particular para el municipio de Nuevo Colón, teniendo como zona de producción las regiones comprendidas entre 1800 y 2300 m de altitud (Pulido-García 2012). Del fruto actualmente se obtienen dulces, conservas, pulpas y se espera la apertura de nuevos mercados a nivel nacional e internacional.

El objetivo de este estudio fue determinar la temperatura base del periodo fenológico comprendido entre cuaje de fruto y fruto en cosecha de la ciruela variedad Horvin (*Prunus doméstica* L), así como determinar el tiempo térmico o fisiológico (GDC) para este periodo.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio

El estudio se realizó en cuatro zonas, ubicadas en el municipio de Nuevo Colón en Boyacá, Colombia. En las zonas de estudio se encuentran patrones de durazno injertado con púas de ciruela variedad Horvin, (*Prunus doméstica* L.), sembrado en diferentes años. Se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 80 árboles para el estudio. Las localidades se describen en la tabla 2-1.

Tabla 2-1 Ubicación de las localidades estudiadas.

	Altitud m	Latitud	Longitud	HR (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
localidad 1	2449	5° 21' 25.61" N	73° 27' 41.51" O	64.5	28,7	7,3
localidad 2	2285	5° 20' 32.79" N	73° 27' 47.41" O	68.3	29,1	8,2
localidad 3	2215	5° 20' 21.33" N	73° 27' 49.32" O	70.2	29,2	9,3
localidad 4	2195	5° 20' 17.56" N	73° 27' 53.85" O	73.8	30,7	9,5

El municipio de Nuevo Colon se caracteriza por tener un clima húmedo frío B2d B1, de la “clasificación de Thornthwaite”, con temperatura media entre un mes y el siguiente de 8°C entre el mes más frío y el más cálido de 22°C. La humedad relativa es alta, a mayor altitud alcanza un 87% como valor máximo y un 35% como valor mínimo. Las precipitaciones presentadas en esta zona tienen un comportamiento de tipo monomodal, con valores de precipitación media anual de 907.2mm concentrada en los meses de abril a julio (Pulido-García 2012).

La primera parte de este estudio consistió en la determinación de la temperatura base (Tb) para el periodo fenológico comprendido entre cuaje de fruto y cosecha del mismo para la ciruela variedad Horvin. La segunda parte del estudio es la estimación de la duración en grados día de crecimiento (GDC) del periodo fenológico considerado, con lo cual es posible determinar con mayor precisión la fecha de cosecha en diferentes periodos productivos. Para lograr este objetivo, en el presente estudio se incluye el registro de la fecha de cuaje de fruto y de cosecha (día real de la cosecha), así como datos meteorológicos diarios (humedad relativa, temperatura, precipitación), incluyendo las temperaturas máximas y mínimas (°C) para cada ubicación.

Las fechas de aparición de cuaje de fruto y de cosecha se obtuvieron de las cuatro localidades en el departamento de Boyacá, – Colombia (Tabla 2-2), en un período de registro que correspondió a los años 2015 y 2016.

Tabla 2-2 Fechas de registro para estado fenológico de cuajamiento de fruto y de cosecha para ciruela variedad Horvin en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá).

FECHAS DE CAMBIO DE ESTADO				
	localidad 1 (2449 m.s.n.m)	localidad 2 (2285 m.s.n.m)	localidad 3 (2215 m.s.n.m)	localidad 4 (2195 m.s.n.m)
Cuajamiento fruto (Cosecha1)	septiembre 10 de 2015	septiembre 12 de 2015	septiembre 3 de 2015	septiembre 12 de 2015
Fruto cosecha (Cosecha 1)	diciembre 1 de 2015	diciembre 6 de 2015	Noviembre 18 de 2015	diciembre 2 de 2015
Cuajamiento fruto (Cosecha 2)	abril 8 de 2016	abril 11 de 2016	Marzo 8 de 2016	abril 16 de 2016
Fruto cosecha (Cosecha2)	junio 26 de 2016	julio 21 de 2016	mayo 18 de 2016	julio 6 de 2016

Para poder tener material de análisis, la fecha de aparición de cuaje de fruto se realizó 17 días después de observar el brote del fruto. Se tomaron registros de temperatura y humedad relativa cada 10 min, con un termohigrómetro marca Extech (RTH 10), con capacidad de almacenamiento de hasta 16.000 datos de humedad relativa y 16.000 datos de temperatura en las escalas de medición de 0 a 100 %HR y -40 a +70°C. La información correspondiente a precipitación, se obtuvo con pluviómetros de 50 mm de capacidad.

2.3.2 Estimación de la temperatura base (Tb)

En el presente estudio se estimó la Tb de una etapa fenológica de ciruela, comprendida entre el cuaje del fruto y la cosecha. Para la estimación de la Tb se utilizó la metodología reportada por Parra-Coronado et al. (2015), la cual consiste en utilizar métodos estadísticos, mediante los cuales se determina la variación mínima del coeficiente de variación (CV), de la Varianza (Var) o de la desviación estándar (DS) de las cantidades de calor acumuladas (GDC) durante la etapa fenológica, a partir de un rango de temperaturas entre 0 y 12 °C. La Tb es la temperatura a la cual se obtiene la variación mínima del parámetro estadístico considerado (CV, Var, DS), obtenida con el uso de la herramienta Solver para Excel®, a partir de un modelo de regresión de segundo grado. Solver es un instrumento que sirve para resolver problemas de programación lineal, que ejecuta la primera estimación con los valores asignados a los parámetros iniciales de la

ecuación, disminuyendo o aumentando el valor hasta que encuentra el mínimo de la suma de los cuadrados de las desviaciones estándar (Parra-Coronado, 2015).

2.3.3 Estimación del tiempo térmico (GDC)

El tiempo térmico o grados día de crecimiento (GDC) es una medida que combina tiempo y temperatura en el desarrollo de cualquier ser vivo, de tal manera que a medida que aumenta la temperatura, generalmente la duración de los ciclos de estos seres vivos disminuyen. El tiempo térmico es expresado como “el número de unidades de calor requeridos para completar el desarrollo” (Parra-Coronado, 2015) y se utiliza para predecir la fecha de maduración de frutos caducifolios (Medina-Torres 2000). De acuerdo con varios autores, el tiempo fisiológico permanece relativamente constante, aunque varíe la temperatura y número de días para ir de un estado fenológico a otro, siendo los GDC el modelo más simple que considera el efecto de la temperatura en el desarrollo de las plantas (Parra-Coronado, 2015; Ardila *et al.*, 2011).

Un grado día se acumula cuando la temperatura media diaria es de un grado por encima de T_b para un período de 24 horas (Parra-Coronado *et al.*, 2015). La fase experimental se inicia cuando se hace visible el cuaje de fruto en cada localidad y para cada cosecha.

Para la estimación del GDC se utilizó la metodología presentada por Parra-Coronado *et al.*, (2015), la cual consiste en realizar la sumatoria de la diferencia entre las temperaturas medias diarias registradas durante el periodo fenológico y la temperatura base (T_b), para lo cual se utilizan las ecuaciones 1 a 4.

$$TT = \sum_{i=1}^n GCD_i = \sum_{i=1}^n (T_i - nT_b) \quad (1)$$

Donde, TT es el tiempo térmico ($^{\circ}\text{Cd}$) acumulado durante los n días hasta que aparezca el estado, de cuajamiento de fruto a cosecha; T_i es la temperatura media diaria ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y T_b es la temperatura base ($^{\circ}\text{C}$). Los GDC, para la acumulación de TT se calculan utilizando las siguientes consideraciones:

$$T_i = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} \quad (2)$$

$$\text{Si } T_i > T_b, \quad GCD_i = T_i - T_b \quad (3)$$

$$\text{Si } T_i < T_b, \quad GCD_i = 0 \quad (4)$$

Donde T_{\max} es la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i y T_{\min} es la temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) para el día i.

Con la T_b estimada, se obtuvo el tiempo térmico (GDC) requerido para ir de cuaje de fruto a cosecha, para cada cosecha y para cada localidad, los cuales se promediaron para la fase considerada.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la primera cosecha (agosto de 2015 a diciembre de 2015), en la localidad 1, se registró una temperatura media de $16,7^{\circ}\text{C}$ (Tabla 2-3),, humedad relativa media de 64,5% y una precipitación total acumulada 44,41 mm. En la localidad 2, se registró una temperatura media de $18,54^{\circ}\text{C}$, humedad relativa media de 68,3% y una precipitación total acumulada 25,50 mm. En la localidad 3, se registró una temperatura media de $20,5^{\circ}\text{C}$ humedad relativa media de 70,2% y una precipitación total acumulada 29,50 mm. En la localidad 4, se registró una temperatura media de $21,34^{\circ}\text{C}$ humedad relativa media de 73,8% y una precipitación total acumulada 39,50 mm.

Tabla 2-3 Condiciones climáticas de las localidades desde el cuajamiento del fruto hasta la cosecha ciruela variedad Horvin.

Localidad	Altitud m.s.n.m	Temperatura media (°C)	Humedad relativa media (%)	Precipitación acumulada (mm).
Cosecha 1				
Localidad 1	2449	16,7	64,5	44,41
Localidad 2	2285	18,54	68,3	25,50
Localidad 3	2215	20,5	70,2	29,50
Localidad 4	2195	21,34	73,8	39,50
Cosecha 2				
Localidad 1	2449	16,12	62,8	293,20
Localidad 2	2285	18,36	67,8	303,80
Localidad 3	2215	19,11	69,8	379,92
Localidad 4	2195	19,07	70,74	345,80

2.4.1 Estimación de la temperatura base (Tb)

La temperatura base es esencial para diversos desarrollos fenológicos, para algunas investigaciones se han empleado algunos métodos estadísticos que permiten su obtención de una manera más sencilla. En esta investigación se implementó el método de mínimo coeficiente de variación, varianza y desviación estándar, lo que permite una aproximación más confiable del dato de Tb final. Los valores obtenidos fueron para varianza y desviación estándar valores similares de 2,91°C ($r^2=1$) y 2,90 °C ($r^2=0,98$); coeficiente de variación 1,6 °C ($r^2=0,96$), con lo cual podemos determinar que el dato que más se ajusta es el método estadístico de varianza con valor de Tb =2,9 para las cuatro localidades estudiadas. (Fig. 1,2 y 3)

Figura 2-1 Temperatura base (Tb) desde cuajamiento hasta fruto maduro de ciruela estimada con método estadístico de varianza, de las cantidades de calor calculados (GDC).

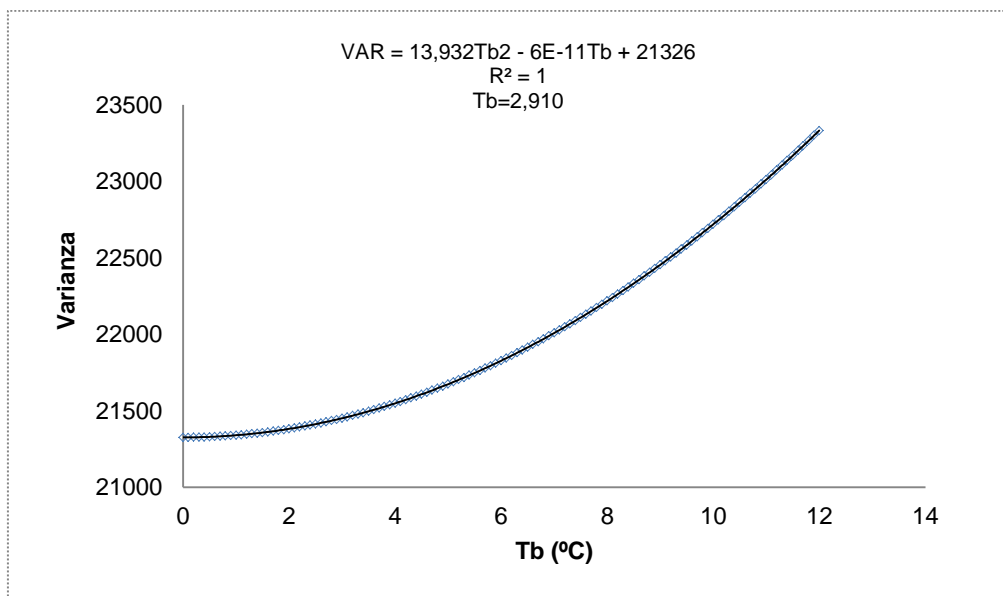


Figura 2-2 Temperatura base (Tb) desde cuajamiento hasta fruto maduro de ciruela estimada con método estadístico desviación estándar, de las cantidades de calor calculados (GDC).

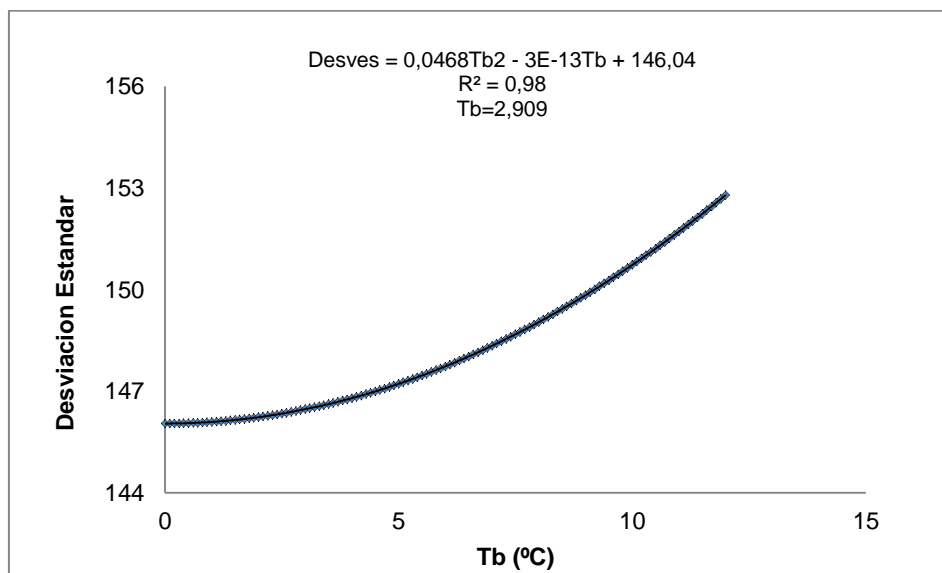
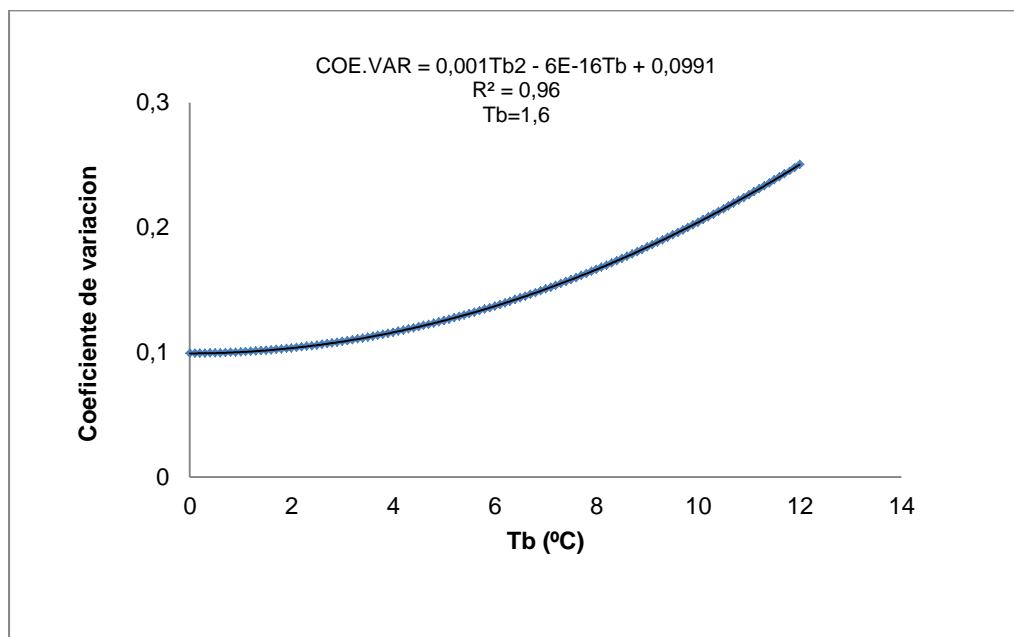


Figura 2-3 Temperatura base (Tb) desde cuajamiento hasta fruto maduro de ciruela estimada con métodos estadísticos coeficiente de variación de las cantidades de calor calculados (GDC).



Considerando la Tb para el periodo desde cuaje hasta cosecha de fruto, el cultivo de ciruela requiere una media de 1528,2 GDC, el tiempo para llegar a la cosecha varía de acuerdo a cada localidad, entre la localidad 1,2,3 y 4 las diferencias no fueron significativas, se encontró una variación de uno a tres días aproximadamente. La localidad 1 tuvo una duración de $79,5 \pm 1,0$ días, mientras en la localidad 2 duro 79 días con probabilidad que se demore o se adelante de 1 a 6 días, en la localidad 3 tuvo una duración de 82 días con probabilidad que se demore o se adelante de 2 a 3 días, y en la localidad 4 la duración fue igual que en la localidad 3.

Tabla 2-4 Tiempo térmico (GDC) y tiempo calendario (Días) para el periodo fenológico comprendido entre cuajamiento de fruto y cosecha.

Tiempo Térmico (°C d ± D,S _i)					Tiempo calendario (días)			
Tb (°C)	localidad		localidad 3	localidad 4	localidad 1	localidad 2	localidad 3	localidad 4
	1	localidad 2	(2215	(2195	(2449	(2285	(2215	(2195
	(2449	(2285 m,s,n,m)	m,s,n,m)	m,s,n,m)	m,s,n,m)	m,s,n,m)	m,s,n,m)	m,s,n,m)
2,9	1382,1± 4,5	1382,8 ± 13,4	1622 ± 21,3	1726,8± 2,8	79,5± 1,0	79± 6,0	82± 2,5	82± 0,0

2.4.2 Discusión

El comportamiento de la precipitación entre las zonas observadas en cada cosecha o periodo de estudio, es posible relacionarlo con condiciones ambientales como evapotranspiración, temperatura, radiación solar y retención de humedad del suelo como lo sugieren (García *et al.*, 2002, Salazar *et al.*, 2013, Fischer *et al.*, 2012), los cuales señalan que las condiciones climáticas juegan un papel fundamental en el tiempo del desarrollo del cultivo.

De acuerdo con las temperaturas registradas en las zonas observadas, como era de esperarse (Tabla 2-4) a menor altura -mayor temperatura (localidad 4), en comparación a la de mayor altura – menor temperatura (localidad 1), este comportamiento es consecuente con lo expuesto por Perea *et al.*, (2010), Quintero (2012), Asseng & Foster (2011).

Los valores de Tb encontrados en la ciruela siguen la misma tendencia como ocurre en la feijoa con estudios realizados por otros autores como Parra (2014), La ciruela, en esta etapa del cultivo (cuaje de fruto) es más susceptible a las bajas temperaturas que en cosecha de fruto, lo cual se evidencia en campo con la pérdida de parte de los frutos

recién formados de la planta, como se presentan en el municipio de Nuevo Colon. En los meses de diciembre y enero, las bajas temperaturas o heladas en esta zona es predominante, lo que concuerda con lo enunciado por (Fischer *et al.*, 2012) (Tabla 2-4), quienes indican que los árboles frutales en este caso de hoja caduca, poco toleran las heladas, y que cuando este fenómeno se presenta hay aborto de frutos y quemadura de los mismos, aunque son más tolerantes en la etapa de cuaje de fruto que en otros periodos fisiológicos como cosecha o antesis (ver temperatura máxima y mínima en tabla 2-1).

Es importante tener en cuenta que para diferentes etapas fenológicas se deben usar diferentes valores de T_b como lo sugieren algunos autores, 7°C, Medina (2000) para duraznos y ciruelas, 10°C (Ortega *et al.*, 2002), y 7°C (Ardila *et al.*, 2011) para tomates.

Los resultados muestran que es importante conocer la temperatura base en todos los estados fenológicos del cultivo, para poder establecer modelos de crecimiento y desarrollo y su respectiva simulación, ya que de acuerdo a esta investigación, el uso de un único valor no es conveniente.

2.4.3 Estimación del tiempo térmico (GDC)

Existen algunas variaciones significativas del tiempo térmico en las zonas de observación. La implementación del GDC calendario toma esta variación y ofrece una explicación para el estado de madurez de fruto, sobre todo cuando las observaciones de diferentes años se estudian y se comparan (Ardila *et al.*, 2011, Zotarelli *et al.*, 2009, Salazar *et al.*, 2013).

Como puede observarse en la Tabla 2-4, la localidad 1 situada a mayor altitud (2449 m,s,n,m) , su tiempo de desarrollo fue de 77 a 79,5 días, muy similar a la localidad 2 ubicada a (2285 m,s,n,m) cuyo desarrollo se dio en 77 a 79 días. Lo mismo sucedió con las zonas de observación 3 y 4 ubicadas a (2215 y 2195 m,s,n,m), donde se desarrollaron durante 79 a 82 días, respectivamente. Esto concuerda con el estudio realizado por

Medina-Torres (2000), quién encontró que en regiones de mayor altitud es más conveniente tener cultivos de ciruela, debido a que son más cortos los periodos fenológicos, según días calendario.

2.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Según diversos autores, los valores de Tb y GDC no son los mismos en todos los periodos fenológicos. En la fase de cuaje estudiada en el cultivo de ciruela se evidencia que la Tb a implementar es de 2,9, se requiere una media de 1528,2 GDC y 81 días para llegar desde cuaje hasta cosecha. Estos parámetros, para el presente estudio, mostraron un alto coeficiente de determinación.

El conocimiento de la temperatura base es de gran importancia para un buen manejo en el cultivo de ciruela, ya que se pueden llevar a cabo con más eficacia buenas prácticas agrícolas que ayudan a predeterminar cuándo es el momento oportuno de recolección. Se considera que se debe hallar la temperatura base de todos los estados fenológicos del cultivo de ciruela variedad Horvin en un próximo estudio y hacer un seguimiento al medio ambiente en relación al clima.

3. Efecto de algunas condiciones edáficas en algunas características físico-químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela variedad Horvin.

3.1 RESUMEN

Las condiciones edáficas son factores determinantes de la calidad de los frutos en el momento de la cosecha. El objetivo de esta parte estudio fue establecer las variables edáficas que influyen en la cosecha del fruto, y determinar la influencia de estas variables sobre algunas características físico-químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela variedad Horvin al momento de la cosecha. En el municipio de Nuevo Colon Boyacá, se realizaron los registros de dos cosechas para cada localidad durante los años 2015 y 2016. Se marcaron diez arboles por surco y , veinte árboles por localidad para un total de 80 árboles para las cuatro localidades. Para los análisis químicos de suelo se tomaron 4 muestras por localidad a una profundidad entre 20 y 30 cm, para un total de 16 muestras de suelo. Para los análisis físicos, se tomaron 6 muestras por localidad, a una profundidad entre 20 y 30 cm, para un total de 24 muestras de suelo. Los resultados mostraron que la densidad aparente en las cuatro localidades es alta, lo que evidencia altos niveles de compactación en cada localidad, y por tanto poco desarrollo del fruto al momento de cosecha. En cuanto a algunas variables químicas como pH, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, zinc, cobre, boro y azufre, se encontró relación con fruto en cosecha en características como peso y diámetro.

Palabras claves. Calidad de fruto, día de cosecha, análisis físico-químico de suelos.

3.2 INTRODUCCION

La ciruela Horvin (*Prunus domestica* L.) es una especie cuyo origen se sitúa en distintas áreas geográficas. Dentro del género *Prunus* se distinguen numerosas especies frutícolas denominadas en su conjunto 'frutas de hueso' entre las cuales se encuentran *Prunus domestica* Lindl (ciruelas europeas) y *Prunus salicina* Lindl (ciruelas japonesas) con diversidad de variedades en cada una de ellas (Candan, 2010). Las ciruelas son originarias del Cáucaso, Anatolia (Turquía) y Persia (Irán). Los principales países productores son Argentina, Chile, Sudáfrica, Estados Unidos y, en España se destaca su cultivo en Extremadura, en la zona mediterránea y en las provincias de Sevilla y Lérída (Sánchez, 2015).

La relación suelo-planta es importante debido a que el suelo es una fuente de nutrientes, como lo manifiesta García-Olalla (1996), la importancia del suelo se debe a la cantidad de nutrientes que contribuyen a la planta, determinando su producción, favoreciendo la retención de agua y la asimilación de materia orgánica.

Las características químicas, mineralógicas y biológicas son determinantes en la productividad agrícola de las tierras. La forma en que las propiedades de los suelos definen su aptitud y manejo depende del grado de los diferentes factores que han afectado la génesis de éste a través del tiempo y de la interacción entre ellos, por lo que las propiedades de los suelos afectan el desarrollo de las plantas.

Los elementos proporcionados por el suelo son la base de la producción agropecuaria y el sostenimiento de la población mundial. El suelo es el intermediario que proporciona los nutrientes y el agua necesarios para las plantas y en consecuencia, de su correcto manejo obtendremos una satisfactoria productividad y sustentabilidad” (IGAC, 2005).

Los nutrientes utilizados por los cultivos deben ser totalmente restituidos al suelo ya que las propiedades físicas y químicas del suelo se deben mantener. Por ello, los niveles de materia orgánica deben mejorarse o por lo menos, mantenerse constantes. El incremento de la acidez y los elementos tóxicos para las plantas se deben corregir y revertir. Para lograr una producción sostenible, se necesita conocer las limitaciones del suelo y su disponibilidad de nutrientes junto a los requerimientos de los cultivos, a fin de implementar prácticas de manejo adecuadas para el desarrollo de los mismos por medio de la aplicación más adecuadas de fertilizantes, enmiendas químicas y orgánicas a las condiciones específicas del suelo y de los cultivos. Siempre se debe buscar mantener la calidad del suelo (IGAC, 2005).

Debido a los problemas de edafología en producción y calidad en el fruto de ciruela, el objetivo de este estudio fue establecer las variables edáficas que influyen en las características físico-químicas y fisiológicas de ciruela variedad Horvin, al momento de la cosecha, en el municipio de Nuevo Colon Boyacá, Colombia.

3.3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.3.1 Localización y zonas de estudio

Las variables climáticas de las localidades estudiadas se tomaron en los años 2015-2016. El presente trabajo se realizó en cuatro localidades (tabla 3-1), ubicadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá).

Tabla 3-1 Ubicación de las localidades estudiadas.

	Altitud m	Latitud	Longitud	HR (%)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)
localidad 1	2449	5° 21' 25,61" N	-73° 27' 41,51" O	64,5	28,7	7,3
localidad 2	2285	5° 20' 32,79" N	-73° 27' 47,41" O	68,3	29,1	8,2
localidad 3	2215	5° 20' 21,33" N	-73° 27' 49,32" O	70,2	29,2	9,3
localidad 4	2195	5° 20' 17,56" N	-73° 27' 53,85" O	73,8	30,7	9,5

En las localidades se encuentran, patrones de durazno diamante, injertados con púas de ciruela variedad Horvin, (*Prunus doméstica* L), estos cultivares son de diferentes años.

Según Pulido-García (2012), en el municipio de Nuevo Colón se tiene un clima húmedo, con temperaturas máximas de 15,2°C en el mes de marzo y mínima de 12,9°C en el mes de julio. Se caracteriza por tener una humedad relativa en zonas altas de 87% y en zonas bajas de 35%, clima húmedo frío B2d B1, (clasificación de Thornthwaite), precipitaciones de régimen monomodal con valores de precipitaciones anuales de 907,2 mm.

3.3.2 Diseño experimental

Para el análisis de variables como tamaño, peso, sólidos solubles totales (SST), acidez total titulable (ATT), ángulo Hue (°h) y firmeza, se tomaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad para dos cosechas, para un total de 80 árboles por cosecha. La observación se llevó a cabo en el centro de cada localidad para evitar el efecto de borde. Los árboles fueron marcados para llevar un orden consecuente en la cosecha del fruto.

3.3.3 Toma de muestras

Se tomaron registros de temperatura y humedad relativa cada 10 minutos, con un termohigrómetro marca Tech (RTH 10), con capacidad de almacenamiento hasta de 16,000 datos de humedad relativa y 16,000 datos de temperatura en las escalas de medición de 0 a 100 %HR y -40 a +70°C. La información correspondiente a precipitación se calculó con pluviómetros de 50 mm de capacidad, instalados en cada una de las localidades, para mantener uniformidad en las condiciones meteorológicas.

En el muestreo de suelos, se tomaron 4 muestras de aproximadamente un kilogramo por cada localidad para la obtención de variables como densidad real, textura y análisis químico. Para las curvas de retención de humedad se tomaron 6 muestras inalteradas por localidad, con un anillo metálico de 2 pulgada de diámetro por 1 pulgada de altura.

En el día de cosecha se tomaron variables de peso con una balanza electrónica marca Mettler PC2000, precisión 0,01 g. Para la variación del diámetro ecuatorial y longitud del fruto (mm) se utilizó un calibrador manual marca KANON Vernier, con precisión de 0,01 mm. Para el cálculo de la variación de la firmeza de la cáscara y de la pulpa del fruto, se hicieron muestras de firmeza, utilizando un texturómetro Broofield CT3- 4500 (Broofield Engineering, Middleboro, MA, USA) con sonda TA39 (de 2 mm de diámetro) y precisión de $\pm 0,5\%$, tomando una lectura por fruto.

El color de la capa superficial del fruto de ciruela variedad Horvin, (ángulo hue; °h) se estableció utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA); para la medición de sólidos solubles totales (SST) se aplicó la norma NTC 4624 (Icontec, 1999a) y se utilizó un refractómetro Eclipse (Bellingham Stanley, Tunbridge Well, UK) con escala de 0 a 32 y precisión de 0,2 °Brix; la cuantificación de acidez total titulable (ATT) se determinó siguiendo la norma NTC 4623 (Icontec, 1999b); finalmente, la relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT) (Parra-Coronado 2014).

3.3.4 Procesamiento y análisis de datos

Para el análisis de comportamiento de cada una de las variables se utilizó el programa estadístico IBM-SPSS v,22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), con el cual se elaboraron los diagramas de cajas (Box Plot) y prueba de tukey, con el fin de visualizar la mediana, cuartiles y valores atípicos. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva. Se realizó análisis de factores por componentes principales, utilizando la rotación de Varimax con el fin de visualizar las variables de mayor incidencia en el estudio, se realizaron pruebas de tukey a las características físicas, químicas y de fruto en el momento de la cosecha por cada localidad y para cada cosecha.

3.4 RESULTADO Y DISCUSIÓN

3.4.1 Análisis descriptivo de las propiedades físicas del suelo

Los suelos de las cuatro localidades, son suelos con texturas francas, franco-arcillosas, arenosas y franco-arenosas (Figura 3-1 A-C). También, presentan alta densidad aparente, y su consistencia es la propiedad que define la resistencia al suelo a ser deformado por fuerzas externas que se aplican sobre el mismo, dicha propiedad depende de la conformación del suelo y del contenido de humedad (Jaramillo, 2002).

El suelo de las cuatro localidades se encuentra en estado coherente (Figura 3-2 D-I), caracterizado por texturas gruesas por la desagregación de partículas, (porcentaje de macroporos entre 2% y 12,5% - microporos 17,5% y 34,5%), bajos contenidos de láminas

de agua aprovechables (entre 12,5% y 27,5%), lo que concuerda con Jaramillo (2002). La densidad aparente se encuentra entre 1,56 gr/cm³ y 1,8 gr/cm³, lo cual indica alta resistencia al suelo para ser penetrado (Ruiz *et al.*, 2004).

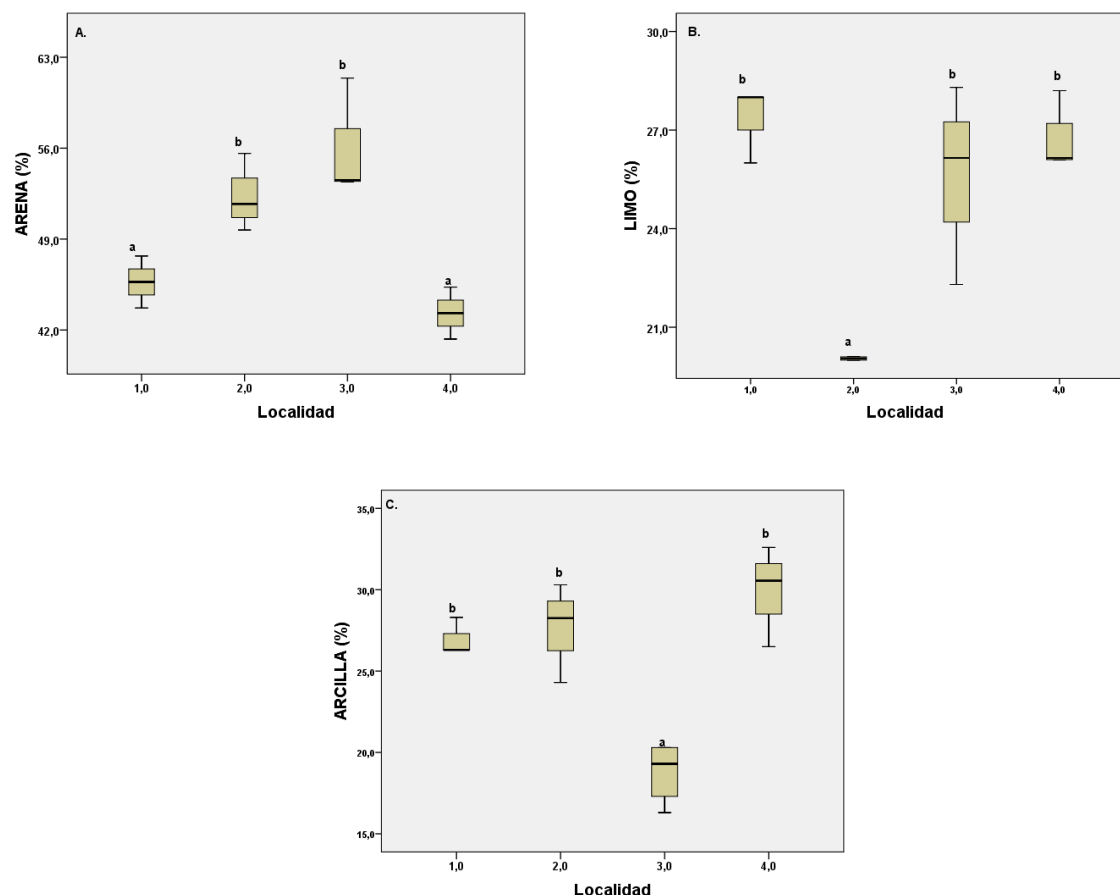
Conocer la porosidad es muy importante ya que esta variable define la relación agua-aire. De acuerdo a lo registrado por el IGAC (2005), la mayoría de los suelos de montaña en el primer horizonte tienen una alta porosidad total, mayor del 50%, pero la distribución entre macro y microporos es inadecuada, ya que predominan los microporos en la gran mayoría de los suelos. El valor de la porosidad total no siempre refleja todos los cambios que pueden ocurrir en un suelo cultivado, especialmente cuando éstos se manifiestan en la distribución del tamaño de los poros (Pérez & Geissert *et al.*, 2003).

Los gráficos Box-Plot permiten identificar que la cantidad de arenas (Figura 3-1 A-C), es mayor en la localidad 3 (53%), a diferencia de la localidad 4 donde es menor (43%). La localidad que presenta el menor porcentaje de arcillas es la localidad 3 (19%), en contraste con la localidad 4 que presenta un mayor porcentaje (31%). Para el porcentaje de limos, se encontró que la localidad con mayor porcentaje fue la localidad 1 (28%), en comparación con la localidad 2 que tuvo un porcentaje de 20%. Estos resultados concuerdan con lo registrado por el IGAC (2005), donde el estudio en algunos suelos de las unidades MMX, a la cual corresponde la zona donde se encuentran ubicadas las localidades, muestran zonas caracterizadas por suelos con arcilla coloidal por migración mecánica debido a las condiciones de un clima frío seco, en donde hay alternancia de estaciones secas y húmedas.

El espacio poroso total aumenta a medida que la textura es más fina y concuerda con lo observado en el bajo contenido de limos y arcillas (Fassbender, 1993).

Es importante resaltar que los suelos por lo general presentan una fertilidad natural óptima sujeta a las fracciones arena y arcilla, su uso se limita debido a factores como relieve, suministro de agua, fertilización, riego, etc.

Figura 3-1 Comportamiento de las propiedades físicas del suelo, del municipio de Nuevo Colon (Boyacá), en las cuatro localidades estudiadas, A-arenas; B-limos; C-arcillas.



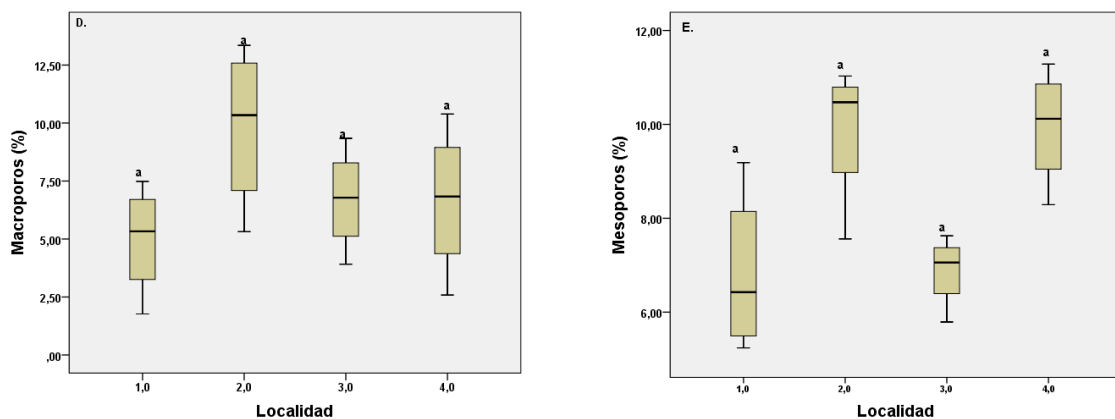
El mayor porcentaje de macroporos (Figura 3-2 D-I), se presentó en la localidad 2 (10,5%), en contraste con el porcentaje más bajo presentado en la localidad 1 (5,5%), presentándose la misma tendencia en el porcentaje de Mesoporos, donde el porcentaje más elevado fue en la localidad 2 (10,8%), en comparación con la localidad 1 (6,3%), mientras el menor porcentaje de microporos se presentó en la localidad 2 (20,5%) y el mayor porcentaje en la localidad 4 (32,0%). Se encontró un porcentaje de porosidad total de 36% en la localidad 1, y de 47,5%. Según el IGAC (2005), en esta zona donde se encuentran las localidades los suelos se conforman así: porosidad total de 46%, macroporos 11%, y microporos 35%, lo cual indica que la cantidad de macroporos en algunas localidades es baja, mientras que los porcentajes de microporosidad son altos.

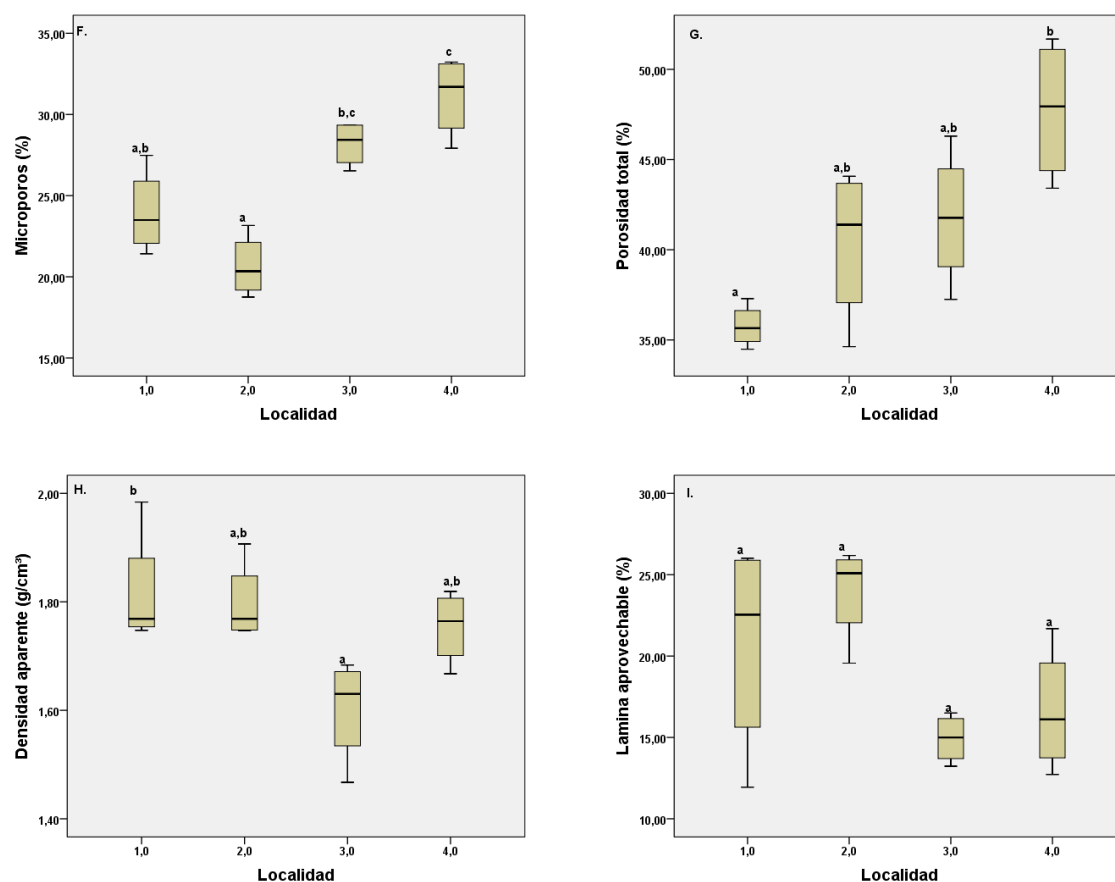
Esto implica que la entrada de agua al suelo sea más lenta y el intercambio de gases con la atmósfera sea menos eficiente para la supervivencia de los organismos del suelo y para el desarrollo de las raíces.

La densidad aparente en las cuatro localidades presenta la siguientes tendencia: en la localidad 1 se observa que el valor medio es de $1,75 \text{ gr/cm}^3$, localidad 2- $1,72 \text{ gr/cm}^3$, localidad 3- $1,65 \text{ gr/cm}^3$, localidad 4- $1,78 \text{ gr/cm}^3$, la localidad donde se presenta la densidad aparente más baja es en la localidad 3, lo que incide en la penetración de agua al suelo, desarrollo de raíz y desarrollo de microorganismos en el suelo.

El mayor porcentaje de lámina de agua aprovechable se presenta en la localidad 2 (25,5%), el menor valor se presenta en la localidad 3 (14,8%), en las localidades 1 y 4 se presentan porcentajes de 23,3% y 16,2%, respectivamente, en contraste con Jaramillo, 2002, la lámina de agua aprovechable para la clase de suelos MMX, debería ser entre 20% y 40%, lo cual evidencia que algunas localidades están por debajo de este valor, esto implica que muy probablemente no se esté haciendo un aprovechamiento efectivo del agua por los árboles en la profundidad radicular.

Figura 3-2 Comportamiento de las propiedades físicas del suelo, del municipio de Nuevo Colon (Boyacá), en las cuatro localidades estudiadas, D: macro poros, E: meso poros, F: microporos, G: porosidad total, H: densidad aparente, I: lámina de agua aprovechable.





3.4.2 Análisis descriptivo de las propiedades químicas del suelo

Para la localidad tres, con base en el análisis químico (media de 4 repeticiones), se tienen las siguientes características: son suelos fuertemente ácidos, con baja saturación de acidez intercambiable, bajos contenidos de carbono orgánico, alta saturación de bases y extremadamente alta saturación de fósforo, probablemente por la aplicación continua de fertilizantes (Anexo-A análisis de suelos localidad tres).

En los gráficos Box-Plot se observa el comportamiento de algunas variables químicas del suelo. El pH en las cuatro localidades se encuentra en un rango de 5,35 y 6,40 lo que indica un suelo fuertemente ácido y ligeramente ácido respectivamente (Figura 3-3 A.). El pH de un suelo determina su relación de acidez y basicidad, la disponibilidad de los

nutrientes, entre otros (Lal & Shukla, 2004). Muy probablemente estos valores se deban a la aplicación de fertilizantes y correctivos que afectan el pH, como yeso y cal agrícola, la cantidad de componentes orgánicos que se han agregado en cada localidad, como también la acumulación de sales, la eliminación de calcio, magnesio, sodio y su reemplazo por aluminio e hidrógeno (IGAC, 2005).

En la localidad número tres y cuatro se observa una mayor proporción de carbono orgánico (3,5% y 3,4%) respectivamente (Figura 3-3 B.). Para la primera localidad se observa un porcentaje de 2,3%, mientras que para la segunda localidad se obtuvo un valor de 1,5%; según Sinchi (2010), son valores medios característicos de montañas y altiplanicies que han evolucionado con condiciones de oxidación favorables para una actividad biológica, lo que contribuye a la mezcla de material orgánico e inorgánico.

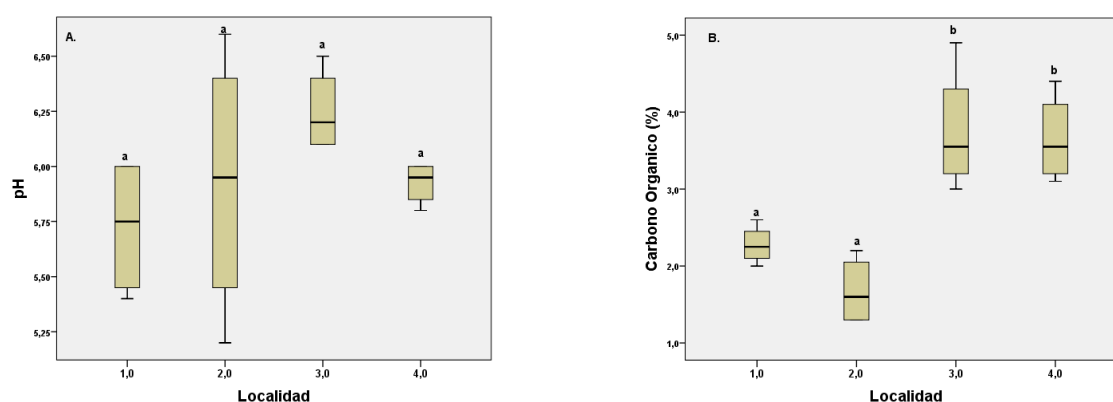
El porcentaje de fósforo (Figura 3-3 C.) en la localidad 3 y 4 (700% y 300%, respectivamente) fueron más elevados con respecto a las localidades 1 y 2 (150% y 210%), lo que concuerda con (IGAC, 2005), donde la disponibilidad del fósforo en los suelos está relacionada con el pH, características encontradas en las localidades. El fósforo es un elemento muy importante para la nutrición de las plantas por las grandes cantidades que requieren para su crecimiento y para la transformación de la energía por fotosíntesis.

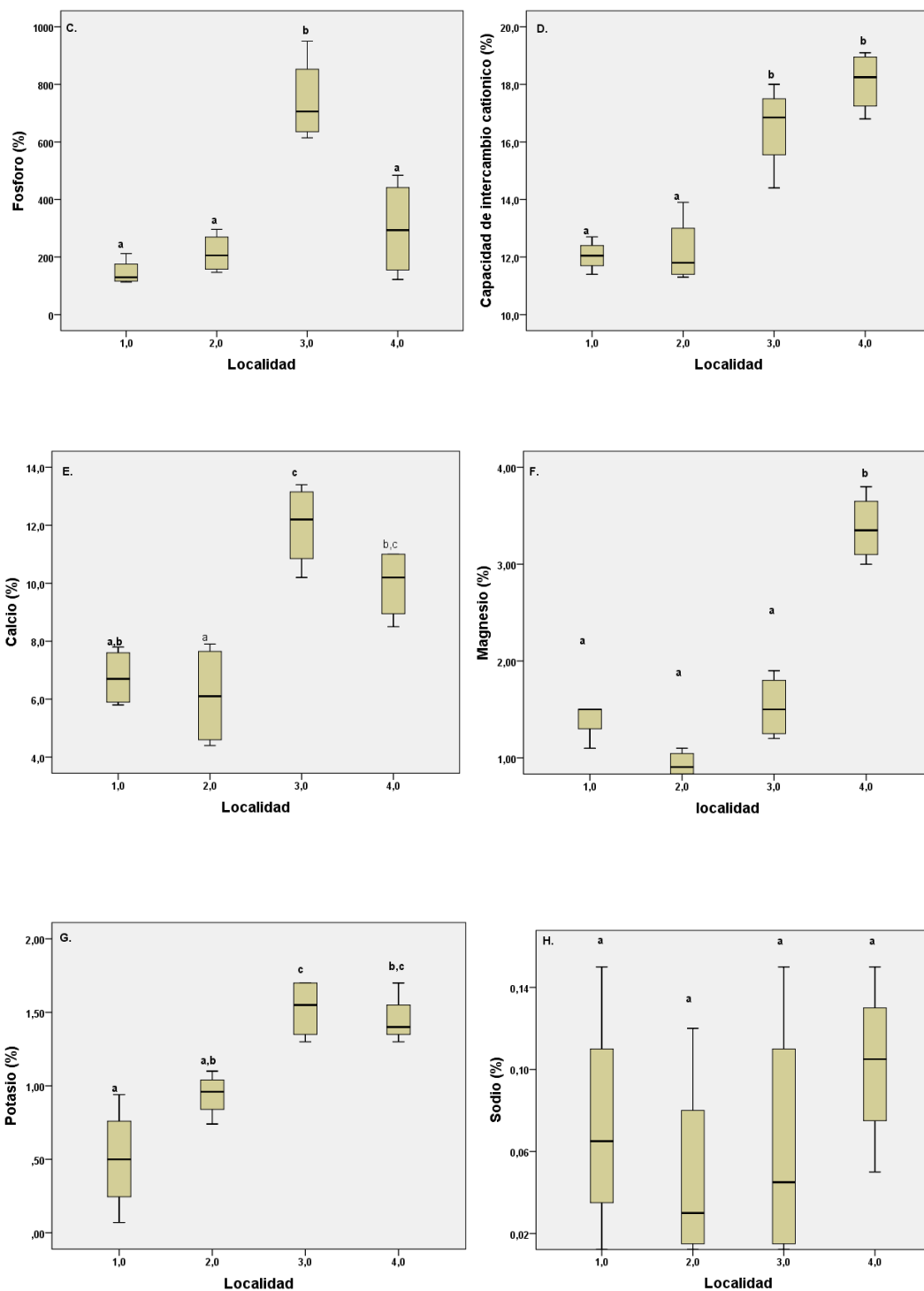
El porcentaje de capacidad de intercambio catiónico (Figura 3-3 D), fue más elevado en la localidad 3 y 4 (18,5% y 17% respectivamente), mientras que para la localidad 1 y 2 fue menor (13,% y 10%). El porcentaje de bases totales (Figura 3-3 E-H), como Ca, Mg, K, Na, determina el nivel de saturación de bases, estos valores son altos de acuerdo con lo registrado para esta clase de suelos IGAC (2005). La saturación de bases es un indicativo del nivel de lavado y desarrollo de los suelos, es alta en los suelos de baja a moderada evolución y/o secos, lo que concuerda con los valores de densidad aparente y lámina de agua aprovechable, obtenidos anteriormente. Es probable que esto se deba a la influencia del clima en cuanto a su interrelación de temperatura, precipitación y

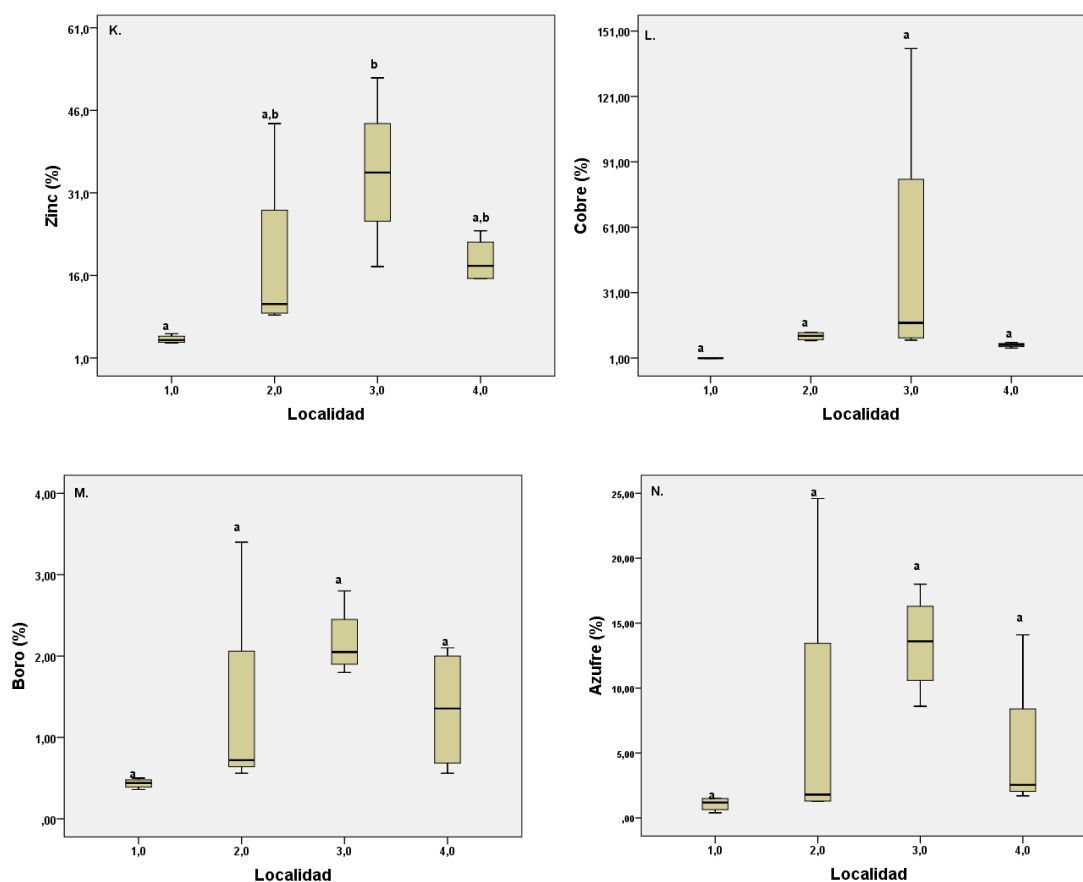
humedad relativa con la proporción de descomposición de la vegetación (Instituto amazonico de investigacion cientifica, 2015). Este valor es importante para la clasificación, uso, manejo y fertilidad.

Para el porcentaje de elementos menores (Mn, Mg, Fe, Zn, Cu, B, S) (Figura 3-3 I-N), se encontró que la localidad que tiene mayor porcentaje de Mg es la localidad 3 (16%), en contraste con la localidad 2 que tiene un porcentaje más bajo (4%). La localidad 3 tiene un menor porcentaje de Fe (45%), mientras que para la misma localidad los valores de Zn (35%), Cu (20%), B (20%) y S (14%) se encuentran por encima de las demás localidades. Estos valores se encuentran en el rango de contenido óptimo según Handbook of Reference Methods for Plant Analysis (1998). Estos resultados probablemente se deben a las diferentes prácticas realizadas por cada agricultor, en cuanto al uso de fertilizantes y coadyuvantes en su cultivo.

Figura 3-3 Comportamiento de las propiedades químicas del suelo, del municipio de Nuevo Colon (Boyacá), en las cuatro localidades estudiadas, A: pH, B: carbono orgánico, C: capacidad de intercambio catiónico, D: calcio E: magnesio, F: calcio, G: sodio, H: manganeso I: hierro J: Zinc, K: cobre, L: boro, M: azufre.







3.4.3 Caracterización físico-química y fisiológica de fruto de ciruela variedad Horvin

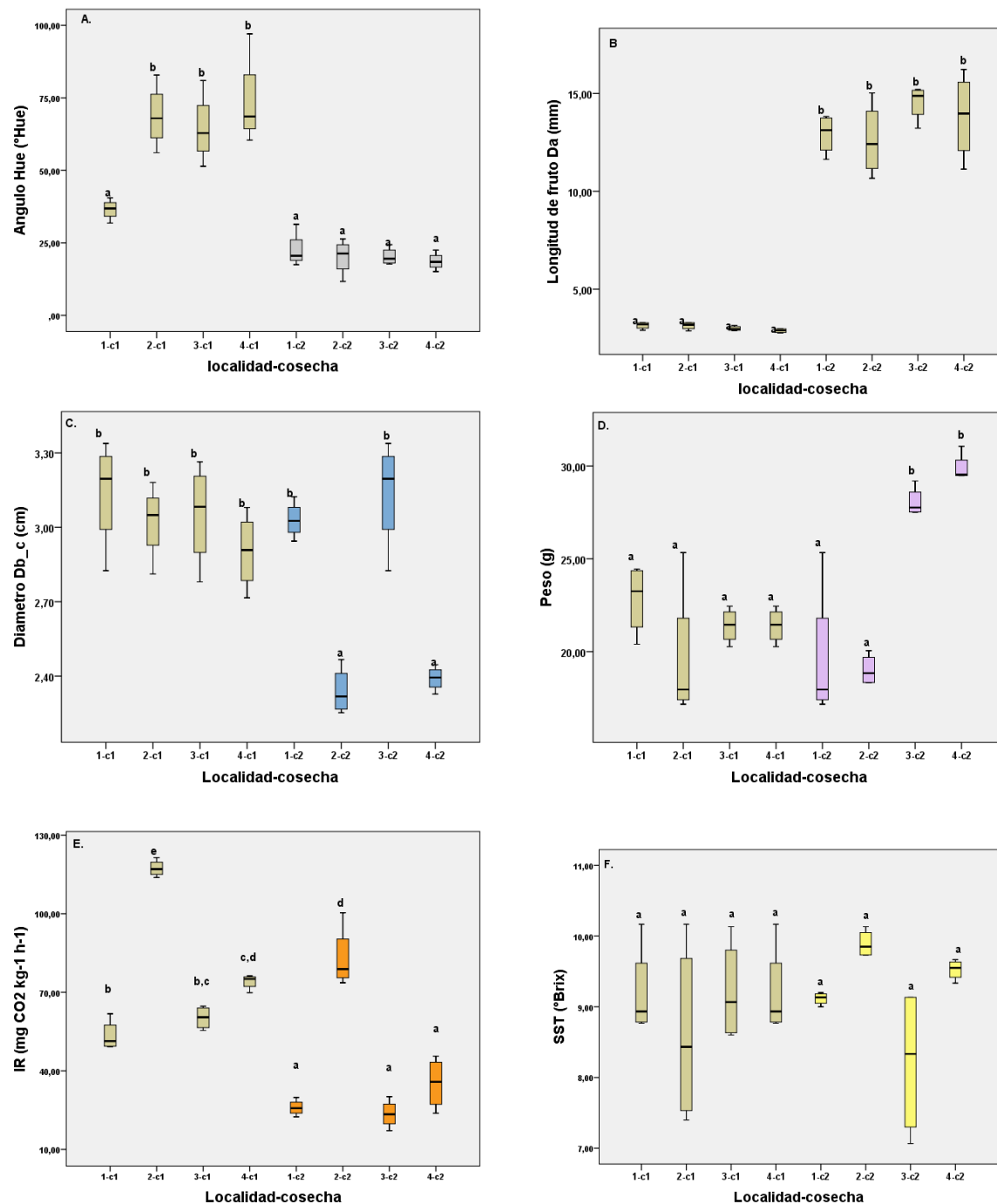
El tamaño del fruto el día de cosecha es observado en la Figura 3-4, donde la variable que tiene más incidencia, en contraste con las otras variables, es el peso el día de cosecha, día en el que además, la intensidad respiratoria es menor. La variable diámetro línea ecuatorial del fruto (Db_c) es directamente proporcional al peso en el momento de la cosecha. Muchos intentos se han hecho para describir los mecanismos que controlan el tamaño y peso del fruto, normalmente con las hipótesis que sostienen que los cambios de desarrollo están directamente relacionados con los factores ambientales, climatológicos o endógenos del árbol (Medina-Torres, 2000).

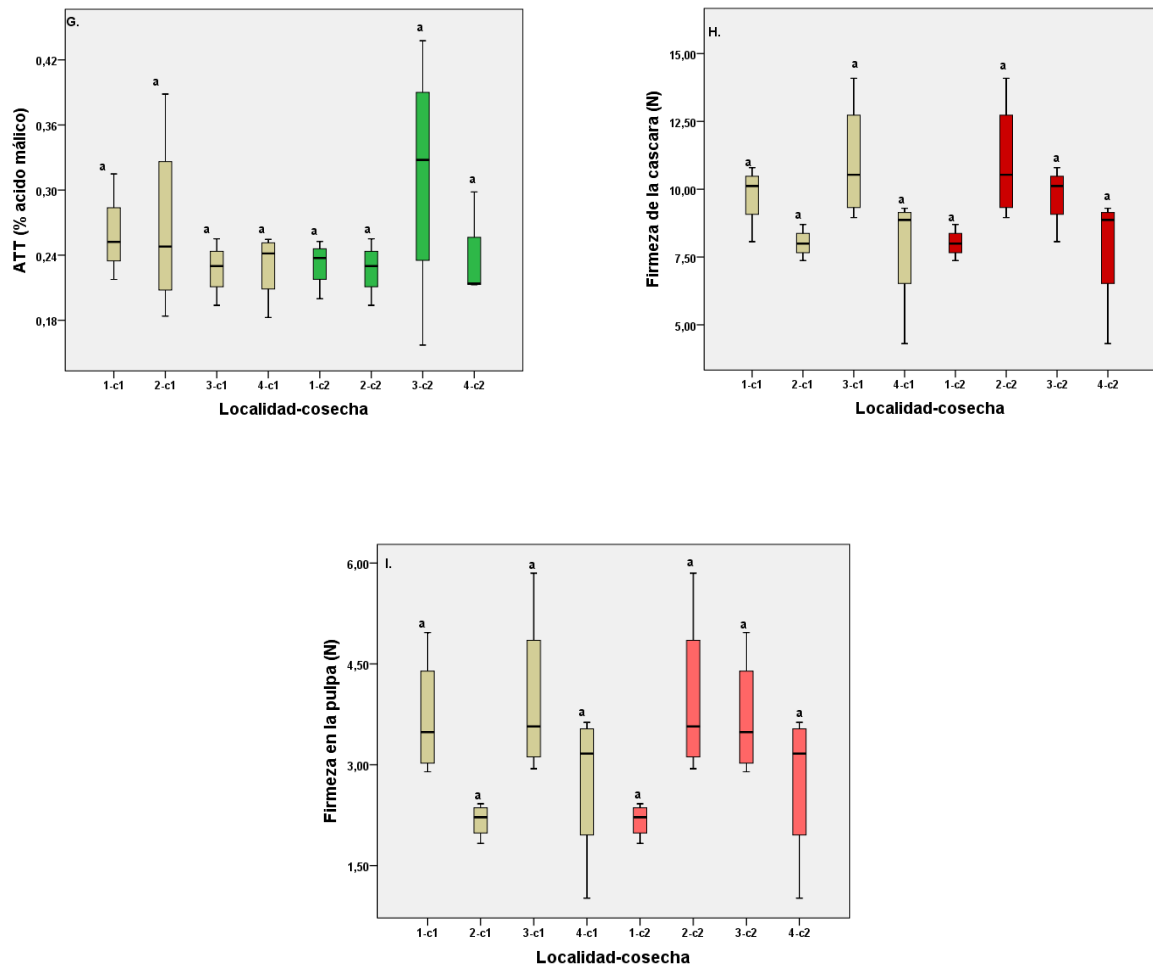
El día de la cosecha, las propiedades físicas, químicas y fisiológicas mantienen un comportamiento típico de las drupas o frutos de hueso. Las altitudes donde se establecen algunos cultivos de frutales tienen diferentes características como humedad relativa, temperatura y precipitación, que inciden en el momento de la cosecha (Salisbury, 2000).

Los gráficos Box-Plot permiten identificar las diferencias entre localidades y a su vez la diferencia entre cosechas. En el Ángulo Hue se observa que las cuatro localidades presentan mayores valores para la cosecha uno, mientras que para la cosecha dos los valores disminuyen; esto puede ser consecuencia de que las condiciones climáticas no hayan sido iguales para las dos cosechas, ya que el clima puede influenciar en los procesos de maduración (Parra-Coronado *et al.*, 2007). Para la longitud, se encontró que en las cuatro localidades, para la primera cosecha, los valores fueron bajos en contraste a los valores altos de la segunda cosecha; se encontraron diferencias según el análisis de tukey entre la cosecha uno y dos para las cuatro localidades. Para el diámetro del fruto, se encontró que para la segunda cosecha las únicas localidades que muestran diferencia son la 2 y 4, en cambio para la cosecha 1 en ninguna de las cuatro localidades se muestran diferencias. Estas diferencias probablemente se deben a la cantidad de precipitación presentada en las cuatro localidades después de haber tenido un largo periodo de sequía por el fenómeno del niño, y también a las prácticas que se realizan en cada localidad.

El peso en la primera cosecha no muestra diferencias significativas, mientras que en la segunda cosecha se encuentran diferencias entre la localidad 3 y 4. Para la intensidad respiratoria se encontró dispersión de los valores de las cuatro localidades de las 2 cosechas, se observó que el mayor valor se tuvo en la localidad 2, debido probablemente a la variación del micro clima en esta localidad. El análisis estadístico de tukey muestra que no se encontraron diferencias significativas para las cuatro localidades ni para las dos cosechas en el porcentaje de SST, ATT, firmeza en cascara ni firmeza en pulpa.

Figura 3-4 Representación gráfica de las variables físico-químicas y fisiológicas del fruto fresco de ciruela en el momento de la cosecha para las cuatro localidades observadas, A: ángulo °Hue, B: longitud C: diámetro D: peso, E: IR, F: SST, G: ATT, H: firmeza en cascara, I: firmeza en pulpa.





3.4.4 Análisis de correlación entre los parámetros de cosecha y las propiedades del suelo.

En la matriz de correlación se observó la incidencia de algunas propiedades físicas del suelo, como la densidad aparente o la lámina de agua aprovechable, sobre algunas propiedades al momento de la cosecha como el peso, el diámetro, la intensidad respiratoria y la firmeza, por lo que se puede concluir que el suelo está directamente relacionado con la calidad de fruto que se puede obtener de un cultivo (Tabla 3-2). Se observó que el porcentaje de limo (0,369), la densidad aparente (-0,341), el porcentaje de microporos (0,500) y la lámina de agua aprovechable (0,329) inciden en el peso del fruto al momento de la cosecha. Además, encontró que los porcentajes de limos, macroporos,

mesoporos, microporos y lámina de agua aprovechable inciden en la variable de intensidad respiratoria, la cual es directamente proporcional a los estados de maduración y desarrollo del fruto (Kader, 2016); estos valores de correlación se deben a que el peso del fruto aumenta en el día de cosecha si disminuye la densidad aparente encontrada en el suelo.

Tabla 3-2 Matriz de correlaciones de variables físico – químicas y fisiológicas para los frutos de ciruela variedad Horvin en contraste con las propiedades físicas del suelo encontrados en las cuatro localidades.

Variables edáficas	Variables de fruto en fresco								
	Hue ¹	Da ²	Db_c ³	Peso ⁴	IR ⁵	SST ⁶	ATT ⁷	Fmaxima ⁸	Fmedia ⁹
Arena	0,030	0,002	0,259	-0,048	0,163	-0,254	0,089	0,513	0,331
Limo	-0,074	0,051	0,221	0,369	-0,696	-0,027	0,074	-0,336	-0,101
Arcilla	0,016	-0,038	-0,454	-0,198	0,289	0,314	-0,154	-0,366	-0,316
Macroporos	0,101	-0,003	-0,119	-0,091	0,404	0,150	0,116	-0,014	-0,167
Mesoporos	0,114	-0,051	-0,421	0,055	0,459	0,043	-0,156	0,085	-0,087
Microporos	0,104	0,051	-0,018	0,500	-0,437	0,119	0,019	-0,237	0,005
Porosidad Total	0,188	0,022	-0,241	0,386	0,039	0,203	0,025	-0,176	-0,125
Densidad aparente	-0,079	-0,032	-0,193	-0,341	0,251	0,330	-0,053	-0,298	-0,235
Lámina aprovechable	-0,105	-0,090	-0,010	-0,329	0,428	-0,043	-0,002	0,273	-0,026

Nota: ¹ Angulo de color Hue (°Hue), ² Longitud del fruto, (mm), ³ Diámetro del fruto, (mm), ⁴ Peso del fruto (g), ⁵ Intensidad Respiratoria (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), ⁶ Sólidos Solubles Totales, (°Brix), ⁷ Acidez Total Titulable (%), ⁸ Firmeza en cascara de fruto fresco (N), ⁹ Firmeza en pulpa de fruto fresco (N).

Se observó que las variables que más tienen correlación con el peso son carbono orgánico (0,577), capacidad de intercambio catiónico (0,593), calcio (0,507), magnesio (0,502) y manganeso (0,576), tal como se muestra en la Tabla 3-3. Estas correlaciones evidencian la importancia de las características físicas y químicas del suelo en el fruto al momento de la cosecha.

Variables como carbono orgánico (0,461), calcio (0,416), manganeso (0,556), la variable de firmeza máxima (cascara) y la firmeza media (pulpa) y en la variable zinc inciden en la Intensidad Respiratoria. Al aumentar la relación de madurez en la cual intervienen algunas propiedades del suelo fruto y clima, los frutos alcanzan la máxima intensidad

respiratoria. (Kays 2004). Todas estas correlaciones probablemente se presentan debido a la cantidad de elementos en el suelo de cada una de las localidades, contrastadas con la caracterización del fruto al momento de la cosecha.

Tabla 3-3 Matriz de correlaciones de variables físico – químicas y fisiológicas para los frutos de ciruela variedad Horvin, en contraste con las propiedades químicas del suelo encontrado en las cuatro localidades.

Variables medidas	Hue ¹	Da ²	Db_c ³	Peso ⁴	IR ⁵	SST ⁶	ATT ⁷	Fmaxima ⁸	Fmedia ⁹
pH	0,075	0,055	0,005	0,161	-0,045	-0,121	0,318	0,037	0,210
Carbono orgánico	0,070	0,057	0,107	0,577	-0,461	-0,042	-0,068	-0,026	0,087
P	0,087	0,065	0,240	0,355	-0,263	-0,212	0,062	0,231	0,251
CIC	0,151	0,036	-0,102	0,593	-0,280	-0,029	-0,051	-0,047	0,082
Ca	0,083	0,067	0,128	0,507	-0,416	-0,185	0,041	0,069	0,210
Mg	0,064	0,015	-0,265	0,502	-0,269	0,085	-0,111	-0,269	-0,089
K	0,199	0,052	-0,158	0,368	-0,083	-0,043	-0,046	-0,069	0,097
Na	0,044	-0,020	-0,247	0,175	-0,165	-0,126	-0,078	-0,266	0,133
Mn	0,048	0,040	0,117	0,576	-0,556	-0,121	0,044	0,041	0,226
Fe	0,064	-0,047	-0,463	0,072	0,231	0,172	-0,232	-0,196	-0,181
Zn	0,096	0,008	0,060	0,327	-0,020	-0,167	0,041	0,406	0,392
Cu	0,050	0,038	-0,057	0,164	-0,075	-0,215	0,162	-0,010	0,266
B	0,132	-0,007	0,052	0,157	0,103	-0,250	0,112	0,369	0,317
S	0,134	0,050	0,051	0,058	0,022	0,105	-0,159	0,013	-0,030

Nota: ¹Angulo de color Hue (^aHue), ²Longitud del fruto (mm), ³Diámetro del fruto, (mm), ⁴Peso del fruto (g), ⁵Intensidad Respiratoria (mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), ⁶Solidos Solubles Totales, (°Brix), ⁷Acidez Total Titulable (%), ⁸Firmeza en cascara de fruto fresco (N), ⁹Firmeza en pulpa de fruto fresco (N).

3.4.5 Análisis de componentes principales

Para este análisis se consideraron los datos obtenidos tanto de suelo como de parámetros de cosecha de la Ciruela, para las cuatro localidades (Tabla 3-4). El primer componente representa el 22,43% de la varianza y las propiedades que mejor expresan este comportamiento para CP1 son el peso, la IR, el porcentaje de limos, mesoporos,

microporos, densidad aparente y la lámina de agua aprovechable. Cuando se ocasiona una ruptura en la estructura del suelo y su porosidad, la densidad aparente aumenta implicando un volumen de poros total en relación al volumen total del suelo, lo que origina que el cultivo no se desarrolle de forma adecuada (Riquelme & Carrasco, 2010).

El segundo componente principal (CP2) explica el 18,60% de la varianza, encontrando características como diámetro, SST, firmeza máxima y media, porcentaje de arenas, porcentaje de arcillas y densidad aparente al momento de la cosecha. De tal forma que los suelos arenosos, conocidos como livianos, retienen poca agua y por lo tanto las raíces se secan rápidamente, en especial las de los árboles frutales; además, son penetrados fácilmente pero no se encuentran los nutrientes suficientes, los suelos con esta característica son generalmente pobres en elementos minerales, lo que requiere una aplicación de nutrientes constante y la inclusión de materia orgánica en cantidades considerables (Riquelme & Carrasco, 2010).

El tercer componente (CP3) explica el 13,65% de la varianza de variables como ángulo Hue, longitud de fruto fresco, diámetro de fruto fresco que indican que al momento de la cosecha, la selección de calidad esté dada por los parámetros de longitud el diámetro y el ángulo Hue.

Durante la cosecha, los frutos de ciruela consiguen su peso máximo, variable directamente proporcional a la longitud y el diámetro, los cuales son parámetros de clasificación (Parra-Coronado *et al.*, 2007).

Para el cuarto y quinto componente principal (CP4 y CP5) respectivamente explica el 12,41% y el 7,98% de la varianza. Los coeficientes indican que la cantidad de macroporos presente en el suelo, la porosidad total y la firmeza media o de pulpa (con valor muy cercano a 0,6), influyen en el fruto al momento de la cosecha.

Tabla 3-4 Coeficientes de los cinco primeros componentes principales considerando las variables fisiológicas, físico-químicas del fruto y variables físicas de suelo para las cuatro localidades.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Comunalidades
Angulo Hue	0,338	-0,066	-0,891	0,111	0,153	0,951
Longitud-Da	-0,390	0,199	0,769	0,084	-0,315	0,915
Diámetro - Db_c	-0,190	-0,492	-0,540	-0,337	-0,277	0,806
Peso	-0,650	0,164	0,234	0,367	-0,075	0,798
IR	0,864	-0,120	-0,305	0,195	0,018	0,896
SST	0,205	0,455	0,075	0,124	0,229	0,802
ATT	-0,171	-0,249	0,044	0,042	-0,341	0,825
Firmeza de la cascara	0,060	-0,718	0,342	0,125	0,449	0,896
Firmeza de la pulpa	-0,147	-0,548	0,296	0,100	0,598	0,906
Arena	0,004	-0,848	0,040	0,330	-0,203	0,971
Limo	-0,732	0,358	-0,247	-0,366	0,078	0,896
Arcilla	0,499	0,742	0,123	-0,133	0,183	0,938
Macro poros	0,408	-0,062	0,006	0,632	-0,504	0,889
Meso poros	0,554	0,258	0,206	0,403	0,262	0,944
Microporos	-0,673	0,367	-0,340	0,398	0,187	0,924
Porosidad Total	-0,120	0,367	-0,205	0,853	-0,040	0,949
Densidad Aparente	0,482	0,426	0,134	-0,360	-0,216	0,795
Lamina Aprovechable	0,717	-0,131	0,353	-0,208	-0,117	0,794
Valor propio	4,038	3,348	2,457	2,235	1,438	
Varianza (%)	22,434	18,601	13,651	12,415	7,987	
Varianza acum (%),	22,434	41,035	54,686	67,101	75,088	

*CP1, CP2, CP3, CP4, CP5: componentes principales 1, 2, 3, 4,5 respectivamente, Valores > 0,7 (Valor absoluto) .

El análisis de componentes principales de variables químicas se realizó con la totalidad de los datos estudiados para las 4 localidades (Tabla 3-5). Los resultados del análisis indican que las variables que tienen mayor incidencia (CP1) son algunas propiedades

físico-químicas del fruto, como el peso y la intensidad respiratoria, en relación con algunas variables químicas del suelo como pH, cantidad de materia orgánica (CO), fósforo (P), capacidad de intercambio catiónico (CIC), Calcio (Ca), Mg (magnesio), K (potasio), zinc (Zn), Cobre (Cu), boro (B). El primer componente principal (CP1), explica el 31,08% de la varianza e indica que cuando el fruto se encuentra en su estado de madurez el peso y la respiración son máximos; en dichos procesos algunas variables de suelo intervienen en el desarrollo total, las cuales llaman la atención ya que la estructura del suelo influye en su método de preparación, para cada localidad (Riquelme & Carrasco, 2010).

El segundo componente principal (CP2) explica el 14,44% de la varianza, que indican que a medida que aumenta la cantidad de fósforo, aumenta el diámetro y la firmeza en cascara del fruto; los árboles de ciruelo no requieren grandes cantidades de fósforo, pero se debe mantener la dosis necesaria en cultivos con alta densidad de siembra (Sánchez, 1998).

El tercer componente principal (CP3) explica el 11,62% de la varianza. Los coeficientes indican que la longitud es un factor incidente al momento de cosecha en los frutos de ciruela variedad Horvin, en esta variedad se presentan valores menores en peso y tamaño al momento de la cosecha en contraste con variedades Gulfruby, Beauty, Shiro y Rubyred, lo que explica por qué presenta mayores valores de firmeza media (en pulpa) y de intensidad respiratoria (Parra-Coronado *et al.*, 2007).

Para el cuarto y quinto componente principal (CP4 y CP5) explica el 7,84% y el 7,66% de la varianza respectivamente. Los coeficientes indican que el diámetro de fruto y la cantidad de azufre en el suelo inciden al momento de la cosecha; se debe tener en cuenta las cantidades adecuadas de azufre para la nutrición vegetal ya que el azufre es un nutriente importante para la producción después del nitrógeno y se debe prevenir su remoción por parte de los productores. El abono orgánico y los residuos de cosecha pueden ayudar a restablecer el azufre removido en cada cosecha (Sanzano 2015).

Tabla 3-5 Coeficientes de los cinco primeros componentes principales considerando las variables fisiológicas y físico-químicas del fruto y variables químicas de suelo para las cuatro localidades.

	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	Comunalidad
Angulo Hue	0,031	0,257	0,917	-0,177	0,080	0,948
Longitud-Da	0,126	-0,327	-0,787	0,130	-0,292	0,918
Diámetro - Db_c	0,047	0,517	0,119	-0,644	-0,045	0,951
Peso	0,605	-0,395	-0,362	-0,128	0,020	0,763
IR	-0,406	0,324	0,654	0,272	0,134	0,949
SST	-0,198	-0,293	0,14	0,454	-0,312	0,791
ATT	0,076	0,293	-0,308	-0,319	0,317	0,721
Firmeza de la cáscara	0,116	0,535	-0,281	0,509	0,355	0,953
Firmeza de la pulpa	0,280	0,384	-0,291	0,464	0,540	0,895
pH	0,518	0,292	-0,081	-0,193	0,168	0,93
CO	0,903	-0,204	0,108	-0,076	-0,116	0,944
P	0,861	0,409	-0,02	0,006	-0,267	0,981
CIC	0,872	-0,345	0,242	0,085	0,047	0,972
Ca	0,941	0,047	0,017	-0,140	-0,036	0,956
Mg	0,496	-0,744	0,251	-0,013	0,242	0,94
K	0,836	-0,061	0,269	0,165	-0,162	0,893
Na	0,281	-0,33	0,062	-0,180	0,452	0,886
Mn	0,84	-0,261	0,028	-0,133	0,153	0,896
Fe	-0,214	-0,709	0,324	0,310	0,270	0,944
Zn	0,767	0,333	0,059	0,272	0,006	0,779
Cu	0,489	0,257	-0,032	0,010	0,043	0,777
B	0,495	0,347	0,074	0,280	0,184	0,653
S	0,364	0,257	0,169	0,267	-0,707	0,851
Valor propio	7,139	3,321	2,674	1,804	1,763	
Varianza (%)	31,038	14,441	11,625	7,845	7,667	
Varianza acum (%),	31,038	45,479	57,103	64,948	72,615	

*CP1, CP2, CP3, CP4, CP5: componentes principales 1, 2, 3, 4, 5.

3.5 CONCLUSIONES

De acuerdo a los valores obtenidos en las correlaciones, se pudo determinar que la variable con más incidencia fue el peso en fruto al momento de la cosecha, en relación a variables químicas (pH, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, zinc, cobre, boro y azufre) y físicas de suelo (densidad aparente y carbono orgánico).

El análisis multivariado ayudó a identificar el comportamiento de las diferentes variables físicas y químicas del suelo, en relación con las variables fisiológicas y físico-químicas del fruto, estos factores inciden al momento de la cosecha. También se encontró que las propiedades físicas y químicas del suelo con mayor incidencia fueron densidad aparente y carbono orgánico en algunas localidades.

La densidad aparente muestra una correlación con el peso y la longitud del fruto en el día de cosecha, ya que para exista un buen desarrollo de fruto se necesita que el cultivo tenga buena oxigenación y buen desarrollo de raíz.

4. Efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características físico-químicas y fisiológicas de frutos de la ciruela variedad Horvin desde el cuajamiento de fruto hasta cosecha.

4.1 RESUMEN

Las condiciones climáticas son factores determinantes de la calidad de los frutos en el momento de la cosecha y están definidas por las características físico-químicas y fisiológicas del fruto. El objetivo en esta parte del estudio fue observar el efecto de las condiciones climáticas sobre algunas características físico-químicas y fisiológicas de los frutos de la ciruela variedad Horvin desde el cuaje hasta cosecha. Para poder determinar estas condiciones, por un lado, se instalaron termo-higrómetros en cada una de las localidades ubicadas a 4 diferentes altitudes, con el fin de obtener la temperatura y la humedad relativa durante el periodo de observación; por otro lado, la precipitación se midió con pluviómetros instalados en cada una de las localidades. Los resultados indican que las condiciones climáticas tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo del fruto de la ciruela, observándose cambios en cuanto a peso y tamaño de una cosecha a otra en las cuatro localidades estudiadas. Se observó que las condiciones climáticas de la primera cosecha, especialmente la temperatura y precipitación, estuvieron afectadas por el fenómeno del niño alcanzando una temperatura media de 6°C cada mes y de

19°C entre el mes más frío y el más cálido, con valores de precipitación media anual de 907,2mm concentrada en los meses de julio a noviembre. Para la segunda cosecha la temperatura decreció y se evidenció mayor precipitación en la zona con temperatura media de 7°C cada mes y una temperatura media máxima de 22°C cada mes, con valores de precipitación media anual de 1100 mm concentrada en los meses de abril a julio.

Palabras claves: temperatura, cosecha, crecimiento y desarrollo del fruto.

4.2 INTRODUCCION

La ciruela variedad Horvin (*Prunus doméstica* L) es una especie cuyo origen se sitúa en distintas áreas geográficas, destacándose el Cáucaso, Anatolia (Turquía) y Persia (Irán). Dentro del género *Prunus* se distinguen numerosas especies frutícolas denominadas en su conjunto 'frutas de hueso' entre las cuales se encuentran *P. doméstica* Lindl (ciruelas europeas) y *P. salicina* Lindl (ciruelas japonesas) con diversidad de variedades en cada una de ellas (Candan, 2010). Los principales países productores son Argentina, Chile, Sudáfrica, Estados Unidos y España, destacándose en este último país las regiones de Extremadura y las provincias de Sevilla y Lérida (Sánchez, 2015).

Las ciruelas presentan diferentes colores de su epidermis como tonalidades amarillas, rojas, negras y verdes. El ciruelo es un árbol caducifolio de hasta 7 m de alto, un tronco que se agrieta conforme envejece y de ramas erguidas; sus hojas son obovadas, elípticas u ovado-lanceoladas, El tronco posee una corteza pardo-azulada, brillante, lisa o agrietada longitudinalmente, el cual produce ramas alternas, pequeñas y delgadas, algunas veces lisas y glabras y otras pubescentes y vellosas (Sánchez, 2015).

Según Villegas (2009) la planta de ciruelo presenta las siguientes características: el sistema radicular tiene raíces largas, fuertes, flexibles, onduladas, poco ramificadas y profundas, las cuales emiten brotes nuevos con frecuencia. Las flores son solitarias o germinadas, raramente en fascículos de 3-5 con pedicelos glabros o pubescentes de 8-

15 mm. El fruto es una drupa redonda u oval recubierta de una cera blanquecina denominada pruina, presenta un color amarillo, rojo, negro o violáceo y posee un pedúnculo mediano y veloso; en su interior se encuentra un hueso oblongo y comprimido, algo áspero, que contiene en su interior la semilla del fruto. Como lo manifiesta Medina-Torres (2000), se han propuesto diversos parámetros para determinar la madurez de las ciruelas en la recolección, siendo las más usuales el color de la epidermis y la dureza de la pulpa. Respecto a la fisiología de su maduración, las ciruelas han sido tradicionalmente clasificadas como frutos climatéricos (Sánchez, 2015).

Según la FAO 2002:

A través de los años, los agricultores han desarrollado una serie de métodos para alterar las condiciones medioambientales de sus cultivos, para anticipar y mejorar la calidad de la producción, Las características climáticas de una zona deben analizarse en relación con las necesidades de las plantas que se intentan cultivar, Las heladas destruyen a las especies de estación cálida, Las temperaturas por debajo de 10 a 12 °C, durante una serie de días consecutivos, no destruyen los cultivos, pero afectan a su comportamiento y condicionan la productividad, tanto cualitativa como cuantitativamente, Es importante considerar que a pesar de no ser un dato climatológico clásico, La latitud del lugar y la estación del año condicionan el que las necesidades de foto período de los cultivos queden satisfechas o no, necesidad ligada a la duración de la noche más que a la del día; la temperatura del suelo es un factor medioambiental determinante, Parece que hay un valor umbral mínimo de temperatura del suelo (fijado aproximadamente en 15 ° C).

Las investigaciones que se han llevado a cabo en cultivos de ciruela, incluyen trabajos en caracterización físico-química del crecimiento y desarrollo de los frutos (Parra-Coronado *et al.*, 2006) y estudios del efecto de las condiciones climáticas y de cultivo sobre los procesos fisiológicos de la planta o Ecofisiología (Perea *et al.*, 2010), La literatura consultada no reporta estudios relacionados razón por la cual, el objetivo de este estudio fue determinar la influencia de las condiciones climáticas de cultivo sobre la calidad en cosecha de los frutos de ciruela variedad Horvin, cultivadas en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá).

4.3 MATERIALES Y METODOS

4.3.1 Localización y caracterización de las zonas de estudio.

Las muestras de fruto se recolectaron durante el periodo comprendido entre cuaje de fruto y cosecha, durante dos cosechas, en cuatro localidades ubicadas a diferente altitud en el municipio de Nuevo Colón (Boyacá – Colombia). Las diversas actividades de manejo de cultivo fueron iguales para las cuatro localidades, con el fin de eliminar variables con diversos tratamientos. La localidad 1 se encuentra ubicada en las coordenadas 5° 21' 25,61" N y 73° 27' 41,51" O, a una altitud media 2449 m,s,n,m; la localidad 2 a 5° 20' 32,79" N y 73° 27' 47,41" O y altitud media 2285 m,s,n,m; la localidad 3 a 5° 20' 21,33" N y 73° 27' 49,32" O y altitud media 2215 m,s,n,m,; la localidad 4 a 5° 20' 17,56" N y 73° 27' 453,85" O y altitud media 2195 m,s,n,m. La región de estudio se caracteriza por lluvias tipo monomodal.

Las variables climáticas de las localidades estudiadas fueron tomadas en los años 2015 y 2016. Los datos meteorológicos registrados para el estudio, corresponden a temperatura, humedad relativa y precipitación en las cuatro localidades, para lo cual se utilizaron termo higrómetros marca Tech (RTH 10), con capacidad de almacenamiento hasta de 16,000 datos de humedad relativa y 16,000 datos de temperatura en las escalas de medición de 0 a 100 %HR y -40 a +70°C, los cuales registraron datos cada 10 min. La información correspondiente a precipitación se calculó con pluviómetros de 50 mm de capacidad, instalados en el centro de cada una de las localidades de observación. Para el estudio se seleccionaron árboles en el centro de cada localidad, con el fin de evitar el efecto de borde.

4.3.1 Diseño experimental y toma de muestras

Para la investigación se marcaron 10 árboles por surco y dos surcos por localidad, para un total de 80 árboles estudiados durante dos periodos diferentes de producción (años 2015 y 2016). Para el estudio de la variación del crecimiento (tamaño y peso) y de las características físico-químicas y fisiológicas, se tomó un fruto al azar por árbol cada dos semanas a partir del día 17 (cuaje), cuando los frutos tuvieron suficiente tamaño para poder realizar los respectivos análisis, y hasta la cosecha,

4.3.2 Variables medidas

Las variables medidas corresponden a la variación del peso, diámetro (Db_c), longitud (Da), intensidad respiratoria y color (Hue), las cuales se evaluaron a los 17, 32, 47,62,77 y 92 días contados a partir del cuaje del fruto de ciruela variedad Horvin, tomando un fruto de cada árbol, en diez arboles de cada localidad, para cada muestreo en los días señalados anteriormente.

Las variables de crecimiento medidas en el estudio fueron: variación del peso fresco individual del fruto (g), mediante el uso de una balanza electrónica marca Mettler PC2000, precisión 0,01 g; el diámetro ecuatorial y longitudinal del fruto (mm), se determinó con un calibrador manual marca KANON Vernier con rangos desde 6" / 150mm hasta 24" / 600mm con graduaciones de 1/20mm - 1/128", 1/20mm - 1/1000", 1/50mm, con cuatro formas de medición y precisión de 0,01 mm. La variación de la firmeza de la cáscara y de la pulpa del fruto, se determinó tomando una lectura por fruto mediante el uso de un texturómetro Broofield CT3- 4500 (Broofield Engineering, Middleboro, MA, USA) con sonda TA39 (de 2 mm de diámetro) y precisión de $\pm 0,5\%$.

El color de la epidermis del fruto de ciruela variedad Horvin (ángulo hue; °h) se estableció utilizando un colorímetro Minolta CR-400 (Konica Minolta, Ramsey, NJ, USA).

Para la medición de sólidos solubles totales (SST) se aplicó la norma NTC 4624 (Icontec, 1999a) y se utilizó un refractómetro Eclipse (Bellingham Stanley, Tunbridge Well, UK) con escala de 0 a 32 y precisión de 0,2 °Brix. La cuantificación de acidez total titulable (ATT)

se determinó siguiendo la norma NTC 4623 (Icontec, 1999b). La relación de madurez (RM) se determinó a partir de la relación entre los sólidos solubles totales y la acidez total titulable (SST/ATT) (Parra-Coronado 2014). Las condiciones climáticas registradas en cada una de las localidades durante los períodos de estudio (dos cosechas), se presentan en la Tabla 4-1:

Tabla 4-1 Condiciones climáticas de las localidades durante el desarrollo del fruto de ciruela.

<i>cosecha/localidad</i>		<i>Días</i> ¹	<i>A</i> ²	<i>T</i> ³	<i>HR</i> ⁴	<i>P</i> ⁵	<i>Compactación del suelo</i> ⁶	<i>Fertilidad</i> ⁷
cosecha 1	<i>localidad 1</i>	82	2449	16,7	64,5	44,4	1,79	aceptable
	<i>localidad 2</i>	79	2285	18,54	68,3	25,5	1,61	buena
	<i>localidad 3</i>	85	2215	20,50	70,2	29,5	1,8	aceptable
	<i>localidad 4</i>	81	2195	21,34	73,8	39,5	1,76	buena
cosecha 2	<i>localidad 1</i>	77	2449	16,12	62,8	293,2	1,79	aceptable
	<i>localidad 2</i>	81	2285	18,36	67,8	303,8	1,61	buena
	<i>localidad 3</i>	82	2215	19,11	69,8	379,9	1,8	aceptable
	<i>localidad 4</i>	82	2195	19,07	70,74	345,8	1,76	buena

¹Días calendario transcurridos desde cuajamiento de fruto hasta cosecha,

²A Altitud de cada localidad observada (msnm),

³T Temperatura media desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (°C),

⁴HR Humedad relativa media desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (%),

⁵P Precipitación media acumulada desde cuajamiento de fruto hasta cosecha (mm),

⁶Densidad aparente encontrada en cada localidad (gr/cm³)

⁷Datos de Fertilidad de acuerdo al análisis de suelo reportado por el instituto Agustín Codazzi para cada localidad.

4.3.3 Análisis estadístico

Para el análisis de comportamiento de cada una de las variables se utilizó el programa estadístico IBM-SPSS v,22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA), con el cual se realizó el análisis de correlación para las variables anteriormente descritas. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, considerando la desviación estándar como factor de dispersión.

4.4 RESULTADO Y DISCUSIÓN

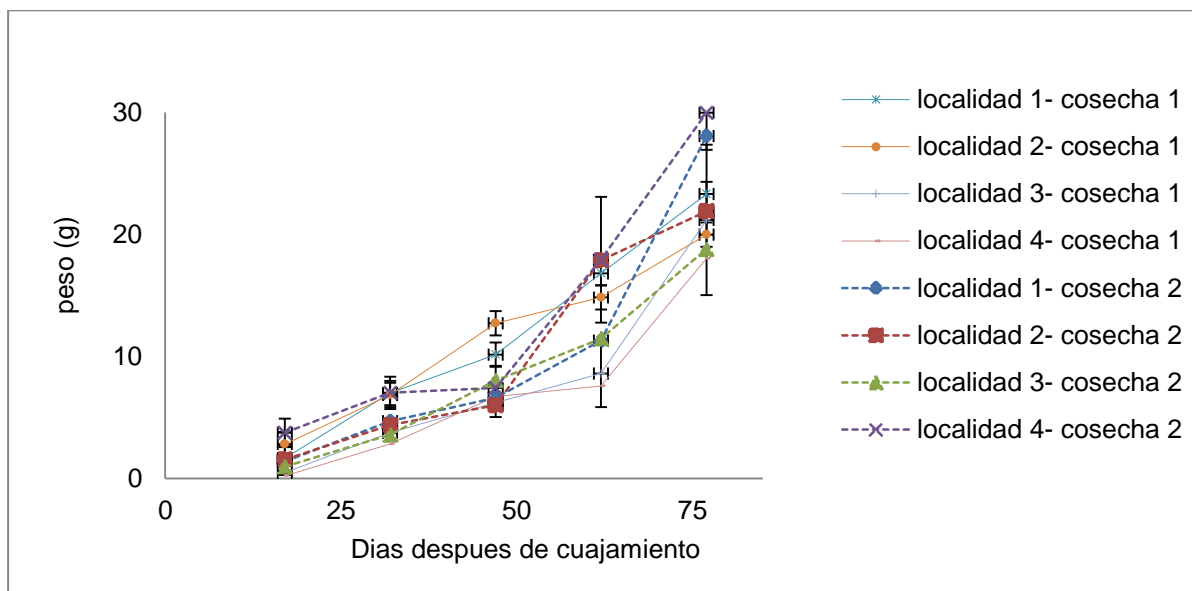
4.4.1 Crecimiento del fruto

El crecimiento del fruto de la ciruela variedad Horvin se caracteriza por presentar tres etapas diferentes: un crecimiento lento hasta el día 47, a partir del cual la tasa de crecimiento decrece hasta el día 62; desde este día y hasta el día 92 (madurez fisiológica), los frutos tienen una mayor tasa de crecimiento, lo cual es acorde con la teoría de crecimiento en frutos de hueso de crecimiento sigmoideal doble (Salisbury, 2000).

El peso que el fruto gana (Figura 4.1), a partir del día 62 con respecto al peso final oscila entre 32 y 58% para la localidad 1, mientras que para la localidad 2 está entre el 25 y 42%, para la localidad 3 entre 45 y 62% y para la localidad 4 entre 45 y 65%; este comportamiento es similar en otros frutos como lo señala (Parra-Coronado *et al.*, 2006), evidencia la necesidad de hacer una recolección en el momento apropiado, para que el rendimiento y los ingresos del pequeño agricultor no se vean afectados.

Los resultados de esta investigación indicaron que los frutos que se producen a una altitud mayor y menor (localidades 1 y 4), alcanzan un tamaño y peso mayores que las producidas a altitudes medias (localidades 2 y 3) tal como lo muestra la Figura 4-1; esto concuerda con estudios realizados para otros productos como la feijoa (Parra-Coronado, 2015). La segunda cosecha de las localidades 2 y 4, presentaron un comportamiento totalmente atípico debido probablemente al periodo de transición hacia el fenómeno de la niña, cuya precipitación fue de 114,22%. También se podría considerar que la densidad real es bastante alta, pero inferior en estas dos localidades; además se considera que la fertilidad en ambas localidades es buena, (según datos suministrados por el Instituto Agustín Codazzi), lo que hace que el crecimiento del fruto en estas localidades se incremente.

Figura 4-1 Variación del peso fresco desde cuaje hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.



En la Figura 4-1 se observa que el peso del fruto de ciruela en el momento de cosecha, es superior para aquellos frutos que se producen a menor altitud, requiriendo un mayor número de días calendario y mayor tiempo térmico. Estos resultados concuerdan con (Fischer *et al.*, 2007) quienes encontraron que el desarrollo en uchuva era más

prolongado (75 días), a 2690 m.s.n.m comparado con 66 días a 2300 m.s.n.m, desarrollo que fue relacionado con la menor temperatura en el sitio más alto (Medina-Torres 2000).

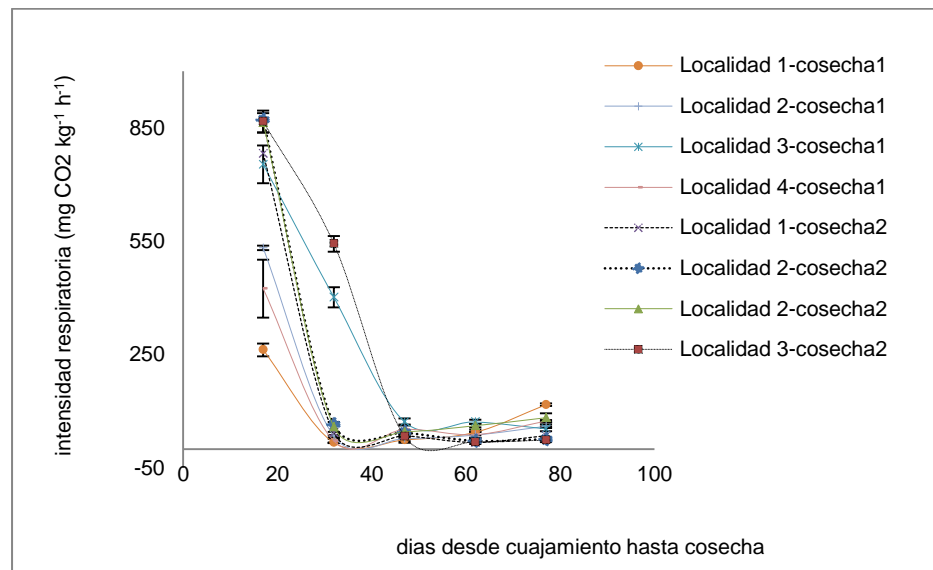
El menor peso y tamaño en frutos de ciruela se produjo en condiciones de altitud media, ya que cuando los organismos vegetales están expuestos a mayor radiación solar el organismo va a manifestar una mayor tasa de transpiración, lo que desencadena un prolongado transporte de agua y nutrientes como lo (Murray *et al.*, 2005; Hodges, 1991) indica que la temperatura es una función de la longitud del día y tiene un estrecha relación con el crecimiento de las plantas.

El diámetro y la longitud presentan la misma tendencia, un comportamiento ascendente (Figura 4-1) a medida que el peso aumenta se espera que el diámetro también aumente, como lo manifiesta (Parra-Coronado *et al.*, 2007) en frutos de ciruela variedad Horvin.

4.4.2 Intensidad respiratoria.

A medida que el fruto se desarrolla, la intensidad respiratoria va disminuyendo hasta su periodo de senescencia. En la Figura 4-2, se observa que la localidad 1 tiene una intensidad respiratoria más elevada con una tasa de $871,14 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$, y se mantiene la tendencia en la localidad 2 y 3 con valores $863,77$ y $867,06 \text{ mg CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$ respectivamente, lo cual concuerda con (Medina-Torres, 2000): “las ciruelas son frutos climatéricos, capaces de proseguir la maduración aun después de la recolección, la mínima actividad respiratoria coincide con la madurez de recolección y de consumo, durante el proceso de maduración de las ciruelas ocurren cambios de color en la epidermis y de la pulpa al contenido de sólidos solubles totales, (SST), que aumentan y a la acidez (ATT) que disminuyen”. El menor valor de intensidad respiratoria ocurre en la localidad 3, lo que concuerda con los datos registrados de peso y tamaño.

Figura 4-2 Variación de la intensidad respiratoria desde cuajamiento hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.



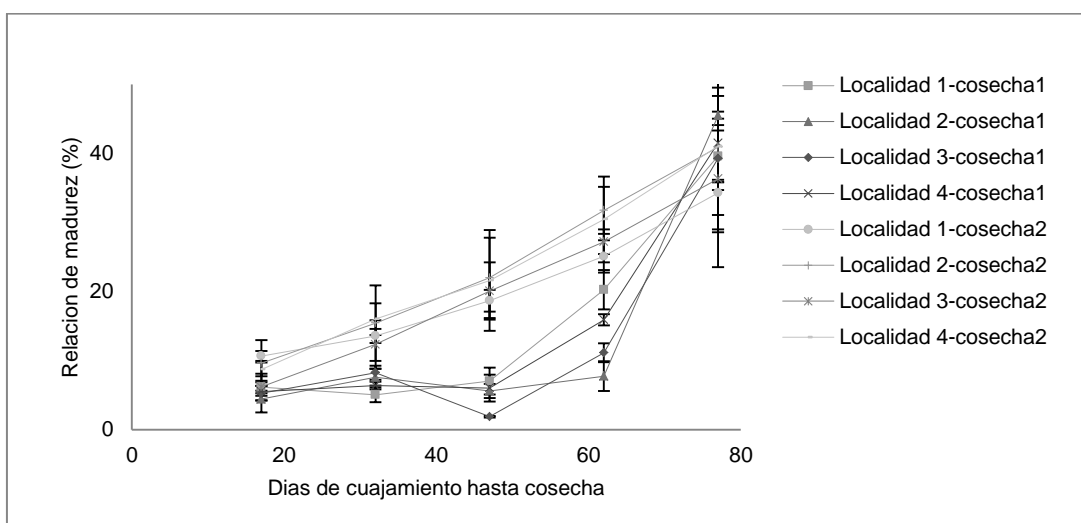
4.4.3 Relación de madurez (RM)

La relación de madurez se define como SST/ATT , presenta una tendencia de crecimiento a través del tiempo (figura 4-3), Según Parra-Coronado (2014): “a medida que el fruto crece, la RM aumenta. Este comportamiento se explica porque los SST aumentan y la ATT disminuye a medida que el fruto de ciruela variedad Horvin se desarrolla”.

Los SST crecen y la ATT disminuye en los frutos de ciruela, en las dos cosechas y en las cuatro localidades. A medida que el fruto crece, se observa (Figura 4-3) que desde el día 17 tiene un leve crecimiento, pero a partir del día 50 hasta el día 60 se presenta crecimiento con mayor pendiente; ocho días aproximadamente antes de alcanzar su madurez fisiológica se obtiene el mayor peso en fresco para la primera cosecha en la localidad cuatro, mientras que para la segunda cosecha de esta misma localidad se obtiene el menor valor (45,47 y 34,30 respectivamente), lo que explica el aumento del metabolismo en el fruto, la relación de madurez es muy importante: (Feippe, 1995) “La

cosecha tardía limita la conservación debido a que los frutos son más susceptibles a daños mecánicos y a la invasión de microorganismos, así como a la incidencia de desórdenes fisiológicos como lo son el pardeamiento y decaimiento interno. La fruta comienza a desarrollar aroma y sabores extraños y la textura de la pulpa se torna harinosa, La madurez de cosecha es más crítica cuando la fruta será comercializada en mercados distantes”.

Figura 4-3 Variación de la relación de madurez desde cuajamiento hasta cosecha del fruto de ciruela variedad Horvin para las cuatro localidades, las barras representan la desviación estándar.



4.4.4 Cambio de color

El ángulo Hue (h°) en los frutos de ciruela no presentan una tendencia predecible en su comportamiento, se presentaron variaciones significativas en la cosecha uno localidad (1,2,3,4) mientras que en las cosecha dos el comportamiento fue mas uniforme. En el día 35 el angulo es mayor debido a que la coloracion cambia de color verde a amarillo, luego toma una coloración con pigmentos rosados y por último toma una coloración roja, lo que representa una buena aproximación en el cambio de tonalidad que varia de color verde a rojo desde 0° hasta 180° (Hernández *et al.*, 2007), El ángulo Hue presentó valores bajos: $45,99^\circ$ en la localidad uno, mientras que en la localidad cuatro $108,2^\circ$; los valores de las localidades dos y tres fueron intermedios.

4.4.5 Análisis de correlaciones

El análisis de correlaciones muestra (Figura4-2), que a medida que el peso fresco del fruto de ciruela variedad Horvin aumenta, también lo hace su longitud ($r=0,80$) y relación de madurez ($r=0,81$), mientras que disminuyen las variables de Intensidad respiratoria ($r=-4,79$), Angulo Hue ($r=-0,56$) y la acidez total titulable ($r=0,137$), lo que concuerda con lo enunciado por Parra-Coronado (2006) para el fruto de pera y Mercado-Silva *et al*, (1998) para la guayaba. Los demas datos muestran una correlacion minima que pueden tener alguna minima interaccion.

Tabla 4-2 Matriz de correlación de variación de las características fisicoquímicas y fisiológicas durante el crecimiento del fruto de ciruela para las cuatro localidades.

	<i>peso</i>	<i>Da</i>	<i>IR</i>	<i>°Hue</i>	<i>SST</i>	<i>RM</i>	<i>ATT</i>
<i>peso</i>	1,000	0,801	-0,516	-0,566	0,296	0,815	0,137
<i>Da</i>	0,801	1,000	-0,717	-0,467	0,498	0,761	0,039
<i>IR</i>	-0,516	-0,717	1,000	0,137	-0,268	-0,448	-0,210
<i>°Hue</i>	-0,566	-0,467	0,137	1,000	-0,236	-0,677	0,038
<i>SST</i>	0,296	0,498	-0,268	-0,236	1,000	0,569	-0,225
<i>RM</i>	0,815	0,761	-0,448	-0,677	0,569	1,000	-0,114
<i>ATT</i>	0,137	0,039	-0,210	0,038	-0,225	-0,114	1,000

¹Peso del fruto (g), ² Longitud del fruto, (Da)(mm) ³Intensidad Respiratoria (IR),(mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), ⁴Angulo de color Hue (°Hue), ⁵Solidos Solubles Totales (SST)(°Brix), ⁶Acidez Total Titulable (ATT) (%).

4.4.6 Características fisicoquímicas en la cosecha

El análisis de varianza muestra que se presentan grandes diferencias estadísticas para las variables Ángulo Hue y longitud, entre las localidades y las cosechas estudiadas (Tabla 4-3), lo que indica que estas variables están condicionadas por el clima presentado en cada una de las localidades y por cada cosecha durante el desarrollo del fruto (Fischer *et a.*, 2007; Medina-Torres, 2000).

Tabla 4-3 Valores medios¹ de las características del fruto de ciruela variedad Horvin en el momento de la cosecha.

Parámetro	localidad- cosecha							
	localidad 1-1	localidad 1-2	localidad 2-1	localidad 2-2	localidad 3-1	localidad 3-2	localidad 4-1	localidad 4-2
<i>Angulo Hue (Hue)</i>	60,65±3,21a	96,95±1,56b	87,24±1,84b	99,73±1,36b	82,50±0,12b	97,97±1,28a	103,07±1,11b	104,903±1,21b
<i>Longitud (cm) Da</i>	2,34±0,75a	7,70±1,18cd	2,46±1,08ab	7,04±1,06ac	1,96±0,14ab	4,38±1,45b	2,36±1,02a	4,38±1,10d
<i>Peso fresco (g)</i>	11,78±0,85abc	13,15±1,15bc	11,45±1,20abc	8,58±1,23ab	8,17±0,89ab	10,46±1,74abc	7,71±1,42a	15,25±2,07c
<i>IR ((mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹))</i>	207,42±1,21a	205,41±1,87a	93,013±2,18a	222,60±1,52a	138,22±3,08a	297,23±1,41a	121,93±1,21a	191,24±1,68a
<i>SST (°Brix)</i>	5,40±0,89a	6,19±1,39a	5,66±1,11a	5,96±1,96a	5,45±0,32a	4,5±1,48a	5,44±0,89a	5,42±1,57a
<i>ATT (% Ácido Oxálico)</i>	0,28±1,07ab	0,60±0,1c	0,29±0,95ab	0,24±0,74a	0,24±0,89a	0,69±0,83c	0,25±2,31a	0,52±0,9bc

¹ Media ± ds, medias seguidas de letras distintas en el mismo parámetro, indican diferencias significativas, según prueba de Tukey (P≤0,05).

En cuanto al ángulo hue se observa (Tabla 4-3) que hay diferencias entre la localidad 1 y 4, para la primera cosecha, pero para la segunda cosecha no muestra diferencias. En la localidad dos y tres en la primera cosecha no se manifiestan diferencias, pero si las hay en la segunda cosecha. Se aprecia influencia de las condiciones climáticas, específicamente de la precipitación de una cosecha a la otra, para todas las localidades. El análisis de medias indica que existen diferencias para la misma localidad entre cosechas, para los parámetros de tamaño, peso y ATT. El peso y el tamaño del fruto en el momento de la cosecha fue mayor para los frutos obtenidos en la segunda cosecha, en todas las localidades, lo que corresponde a los periodos de mayor precipitación.

El análisis de medias (tabla 4-3) muestra que la intensidad respiratoria y la concentración de SST no presentan diferencias estadísticas en el momento de la cosecha para las localidades estudiadas, indicando que probablemente éstos parámetros no serán afectados por las condiciones climáticas prevalecientes en el cultivo.

4.5 CONCLUSIONES

Los resultados en la presente investigación muestran que las condiciones climáticas de cada localidad como humedad relativa, temperatura media y precipitación, influyen en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin y se manifiestan principalmente en variables como peso, ángulo hue y relación de madurez.

El análisis de correlaciones muestra que a medida que el peso del fruto aumenta, también lo hace el diámetro, la ATT y la concentración de SST, mientras que disminuyen el ángulo hue y la intensidad respiratoria.

La condición de clima que mayor incidencia tuvo en el desarrollo del fruto de ciruela variedad Horvin fue la precipitación acumulada, durante el periodo de estudio en cada una de las localidades.

5. Consideraciones generales

5.1 Consideraciones y recomendaciones

Conocer la temperatura base de cada periodo fenológico en cada cultivo puede ser útil para tener otro parámetro al momento de la recolección del fruto. Los días transcurridos desde inicio de la cosecha juegan un papel fundamental, debido a que con base en los grados días de crecimiento (GDC) acumulados por encima para una temperatura base (T_b) específica, serán de gran utilidad para ejecutar diversas actividades tales como el riego, el fertiriego y la programación de cosecha.

La T_b estimada en esta investigación ($2,9^{\circ}\text{C}$) puede predecir la fecha de recolección de ciruela en los periodos fenológicos, desde el cuaje de fruto hasta la cosecha.

Los resultados de la presente investigación muestran que las condiciones climáticas de cada localidad (temperatura, humedad, precipitación) tienen gran influencia en el crecimiento y desarrollo del fruto de ciruela y se manifiestan en características físicas del fruto como peso y longitud. Los frutos producidos a una menor altitud y con alta precipitación acumulada presentan un mejor comportamiento que los frutos cosechados a altitudes medias con precipitaciones medias.

El análisis de correlaciones muestra que a medida que el peso fresco del fruto de ciruela se incrementa, también lo hace su longitud (D_a), relación de madurez, sólidos solubles totales (SST), inverso a lo que ocurre con la acidez total titulable (ATT), la intensidad

respiratoria (IR) y el Ángulo Hue los cuales disminuyen. En algunos coeficientes de variación como SST e IR no se evidencia diferencias significativas y probablemente no son factores que determinen la calidad del fruto al momento de la cosecha.

El análisis de varianza permite concluir que la condición climática que mayor incidencia tiene sobre la intensidad respiratoria es la precipitación acumulada durante el crecimiento del fruto. Los parámetros de peso, SST, ATT y firmeza máxima en cascara, no están influenciados por las condiciones climáticas de cada localidad durante el crecimiento del fruto.

Los resultados del análisis de suelos muestran que las propiedades químicas pH, fósforo, capacidad de intercambio catiónico, calcio, magnesio, potasio, zinc, cobre, boro y azufre incidieron en el peso del fruto de ciruela el día de cosecha, mientras que las variables físicas (densidad aparente y porcentaje de carbono orgánico) incidieron en variables como peso, longitud, diámetro, IR, STT, firmeza máxima y firmeza media en el desarrollo de la cosecha.

Los resultados obtenidos en la presente investigación mostraron un valor de densidad aparente para las curvas de retención de humedad con valores entre 1,8, y 1,6 gr/cm³ para las cuatro localidades, lo que indica alto nivel de compactación. Estos valores se corroboraron realizando pruebas de penetración y densidad aparente en los laboratorios de geotecnia de la universidad Nacional de Colombia, con el fin de descartar errores producidos en el muestreo.

Recomendaciones

Considerando las diversas variedades de ciruela, los diversos climas, los tipos de suelos y las diferentes prácticas culturales que se puedan presentar en cada zona se recomienda:

- Estimar las temperaturas base para todos los periodos fenológicos del cultivo de ciruela para poder realizar modelos de comportamiento.
- Llevar a cabo evaluaciones de cómo influye el clima en el comportamiento de los parámetros de calidad en el fruto de ciruela.
- Determinar la influencia de suelo y clima en otras zonas productoras, con el fin de establecer parámetros de calidad durante el crecimiento y desarrollo del fruto.

6. Bibliografía

- Agronet. 2014. Reportes Estadísticos. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co>; consulta: 02 de abril de 2014.
- Airy Shaw, H. K. & Forman, L. 1967. The Genus *Spondias* L. (Anacardiaceae) in Tropical Asia. *Kew Bulletin*, 21(1), 1-19.
- Alakukku, L.; Weisskopf, P.; Chamen, W.; Tijink, F.; Linden, J.; Pires, C.; & otros. 2003. "vention strategies for field traffic-induced subsoil compaction: A review Part. 1. Machine/soil interactions". *Soil and tillage research*, 73: 145-160.
- Ardila, G.; Fischer, G.; Balaguera-López, H.E. 2011. Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Rev. Colomb. Cienc. Hortíc*, 5 (1): 44-56.
- Arévalo, G. 2008. Manual de prácticas. Curso de manejo de suelos y nutrición vegetal. Zamorano, Honduras: 3ra. Edición. 60 p .
- Bamford, S. & Carr, C. 1991. Effects of soil physical conditions on root growth and water use of barley grown in containers. *Soil and tillage research*, 21:309-323.
- Bassi, D. & Layne, D. 2008. Botany and taxonomy, En: Layne, D.R. y D. Bassi (eds.). *The peach: botany, production and uses*. Wallingford, UK.
- Baughner, A. 2003. Anatomy and taxonomy. En: Baughner, A. y S. Singha (eds.). *Concise encyclopedia of temperate tree fruit*. New York, Food Products Press.
- Benton, J. 2003. *Agronomic handbook. Management of crops, soils, and their fertility*. Crc press. London. New York. Washington, D.C. USA. 450 p.
- Berli, M. 2001. Compaction of agricultural subsoils by tracked heavy construction machinery. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas). Instituto Federal Suizo de Tecnología de Zurich Zurich, Suiza: 141p.

- Botero, N. & Morales, S. 2000. Producción del manzano (*malus sp. cv anna*) en el oriente antioqueño con la abeja melífera, *Apis mellifera* L. (*hymenoptera: apidae*). Rev. Fac. Nal Agr. Medellin. 849-862.
- Brejda, J. Moorman, T. Smith, J. Karlen, D. & Allan, D. 2000. Distribution and variability of surface soil properties at a regional scale. Soil Sci. Soc. Am, 64: 974–982.
- Calvo.V. 2009. Proyecto Microcuenca Plantón - Pacayas, En el cultivo de ciruela. P(1). <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00169.pdf>
- Carter, M. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. Agron. 93:38-47.
- Cepeda, J. 2007. Química de suelos. Editorial Trillas, México. 15 y 106 p.
- Chaparro, P. 2010. granja experimental tunguavita paipa. <http://www.uptc.edu.co>. consulta agosto 2016.
- CRFG. 2014. California Rare Fruit Growers. en: <http://www.crfg.org/pubs/ff/feijoa.html>. consulta: septiembre de 2014.
- Crisosto, C. Garner, D. & Crisosto, G. 2004. Increasing "Blackamber" plum (*Prunus salicina Lindell*). Amsterdam: Postharvest Biology and Technology.
- Dexter, A. 1988. Advances in characterization of soil structure. Soil and tillage research. 11: 199-235.
- Erez, A. (1986). The significance of the length of the leafless stage in deciduous fruit trees on fruit production potential. En: Lakso, A.N. y F. Lenz (eds.). The regulation of photosynthesis in fruit trees. Geneva.
- Eroski Consumer. (2014), <http://frutas.consumer.es/ciruela/propiedades.>: <http://frutas.consumer.es/ciruela/propiedades>. consulta en julio de 2016.
- Eswaran H. Van. D, & Reich. P. 1993. Organic carbon in soils of the world. Soil Sci. Soc. Am J. 57, 192-194.
- FAO. 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil , reports 96. Rome. 58p.
- FAO. 2014. material organico http://www.fao.org/ag/ca/training_materials/cd27-spanish/ba/organic_matter.pdf: consulta septiembre de 2016.
- FAO. 2016. Manual para el mejoramiento del manejo poscosecha de frutas y hortalizas. <http://www.fao.org/docrep/x5056s/x5056S00.htm>. consulta julio de 2016.

- FAOSTAT. 2012. statistics database on the world wide web. de <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=es#ancor>. consulta julio de 2016.
- Fassbender, H. 1975. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs, S. A. Costa Rica. 1ra. Edición. 173, 183 p.
- Fassbender, H. 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de. América Latina. Talleres gráficos de Trejos Hnos. Sucs., S. A. San José, Costa Rica.: 2da edición. 174 p.
- Feippe, A. 1995. Momento optimo de cosecha variedad Golden Japan y Santa Rosa (*Prunus salicina* L). Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. Montevideo - Uruguay. 5-13p.
- Fischer, G., Casierra-Posada, F., & Villamizar, C. 2011. Producción forzada de duraznero (*Prunus persica* (L.) Batsch) en el altiplano tropical de Boyacá (Colombia). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 4(1), 19-32.
- Fischer, G. Ebert, G. & Lüdders, P. 2007. Production, seeds and carbohydrate contents of cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.) fruits grown at two contrasting Colombian altitudes. 81(1): 29-35.
- Fischer, G. 2003. Ecofisiología, crecimiento y desarrollo de la feijoa pp. 9-26. En: Fischer, G., D. Miranda, G. Cayón y M. Mazorra (eds.). Cultivo, poscosecha y exportación de la Feijoa (*Acca sellowiana* Berg). Produmedios, Bogotá.
- Fortin, M. (1996). Soil carbon dioxide fluxes from conventional and no-tillage small grain cropping systems. Am. J. 60, 1541-1547.
- Foth, H. 1985. Fundamentos de la ciencia del suelo. de la compañía editorial continental, México. Tercera edición S. A. de C. V. 207, 208, 211 p .
- Francis, F. 1980. Color quality evaluation horticultural crops. HortScience.en: McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. HortScience, 27(12), 1254-1255.
- García, J. 2009. Correlaciones entre la curva de retención de humedad y propiedades físico-químicas de los suelos de la Habana. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, vol. 18, núm. 2, 40-46.
- Garcia-Olalla. 1996. Relaciones suelo-planta en un sistema pastoral de montaña. Dpto. Bioquímica y Biología Molecular. Universidad de León. 24071 León. España, Pirineos, 147-148: 81 a 96.

- Gonzalez, O., Iglesias, C., Herrera, M., López, E., & Iznag., A. (2008). *"Efecto de la humedad y la presión sobre el suelo en la porosidad total de un Rhodic Ferralso"*. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 17(2): 50-54.
- Gupta, S. 1987, Models to asses the susceptibility of soils to excessive compaction., (Volumen 6). Springer Verlag, New York, USA, 1987: In Advances on Soil Science. ed. B. A. Stewart. 65-100.
- Hamza, M. & Anderson, W. 2005. "Soil compaction in cropping system", Soil and tillage research, 82: 121-145.
- Havlin, J. Beaton, J. & Tisdale, S. 2005. Soil fertility and fertilizers. An introduction to nutrient management. Pearson Prentice Hall. 7th Edition. Upper Saddle River, NJ, USA. 515 p.
- Hernández, M., Martínez, O. & Fernández-Trujillo, J. 2007. Behavior of Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. . Sci. Hortic. 111: 220-227.
- Hewett, E. 2006. An overview of preharvest factors influencing postharvest quality of horticultural products. Int. J. Postharv. Technol. Innov., 1(1): 4-15.
- Hodges, T. 1991. The Ceres what phenology model, In predicting crep phenology, Proaser. 133-141p.
- Hoyos, J. 1989. Frutales en venezuela . Caracas: Sociedad de Ciencias Naturales de la Salle .
- IGAC. 2005. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Boyaca, subdirección de agrología, Bogota Colombia.
- IICA. 1993. Proyecto de Desarrollo Rural Sostenible de Zonas de Fragilidad Ecológica en la region del triffinio. (Proyecto CAM 89-005).
- IGAC. 2014. perfiles departamento de Boyaca. de www.igac.gov.co: www.igac.gov.co. consulta Junio de 2016.
- Jackson, L. 1999. Stonefruit. En: Jackson, D.I. y N.E. Looney (eds.). Temperate and subtropical fruit production. 2a ed. CABI . Publishing: Wallingford.UK. 171-188p.
- Jackson, M. 1964. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Beltrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 662 p.
- Jaramillo. J, 2002. Introduccion a la ciencia del suelo. universidad nacional de colombia, facultad de ciencias, Medellin, 17-20 p.

- Kader, A. 2002. Postharvest biology and technology: En: Kader, A.A. (ed.). Postharvest technology of horticultural crops. 3a ed. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Davis, CA. An overview. 39-48 p.
- Kays, S. 2004. Postharvest biology. Exon Press, Athens (Georgia). 568 p.
- Kays, S. 1999. Preharvest factors affecting appearance. Postharv. Biol. Techno, 15-233-247.
- Keller, T. 2004. Soil compaction and soil tillage studies in agricultural soil mechanics, Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas),. Uppsala, Suecia, : Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas.
- Kern, J. 1993. Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. Am: Soil Sci. Soc.. J. 57, 200-210.
- Kooistra M, 1994. Effects of compaction on soil microestructure. En: Soane and C van Ouwerkerk (Eds) Soil Compaction in Crop Production Elsevier Science. Chap 5.
- Krug, H. 1997. Enviromental influences on development growth and yield.. En: Wien, H.C. The physiology of vegetable crops. Cabi Publishing, London. 101180 p.
- Lal, R. 1997. Residue management,conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO2 – enrichment. Soil and tillage research. 43:81-107.
- Lal, R. & Shukla, M. 2004 Principles of Soil Physics. Marcel Dekker, New York,. ISBN 0-8247-5324-0.
- Lebedys, A. 2004. Tendencias y Situacion actual de la contribucion del sector forestal a las economias nacionales. de <http://www.fao.org/docrep/007/ad493s/ad493s00>. consulta enero de 2016.
- Livestrong. 2015. [livestrong.com](http://www.livestrong.com). de http://www.livestrong.com/es/lista-frutas-almidon-info_7957/ consulta julio de 2016.
- López M., M., Chaves, B., Flórez R., V., & Salazar, M. 2010. Modelo de aparición de nudos en clavel (*Dianthus caryophyllus* L.) cv. Delphi cultivado en sustratos. Agronomía Colombiana, de <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/17593>. 28(1), 47-54.
- López, I, Ramírez, A, & Rojano, A. 2005. Modelos matemáticos de hortalizas eninvernadero: Trascendiendo la contemplación de la dinámica de cultivos. Chapingo. Ser. Hort. , 11 (2): 257-267.
- Matzarakis A, Ivanova D, Balafoutis C, Makrogiannis T. Climatology of growing degree days in Greece. Clim Res. 2007;34:233-240.

- Medina-Torres, R 2000. Fenología y producción forzada de frutales caducifolios bajo condiciones subtropicales. Tesis Dr. Universidad de Colima. 161p.
- Mellisho, C.D.; Egea, I.; Galindo, A.; Rodríguez, P.; Rodríguez, J.; Conejero, W.; F. Romojaro, F.; Torrecillas, A. 2012. Pomegranate (*Punica granatum* L.) fruit response to different deficit irrigation conditions. *Agric. Water Manage.* 114: 30-36.
- Mendoza López, M.R.; Luis Aguilar, A.; Castillo Orta, S.F. 2004. Guayaba (*Psidium guajava* L.) su cultivo en el oriente de Michoacan. Centro de Investigaciones del Pacífico Centro. Campo experimental Uruapan. Folleto técnico No. 4. Uruapan, Michoacan. 49p.
- Mercado-Silva, E., Bautista, P.B.; Garcia-Velasco, M.A. 1998. Fruit development, harvest index and ripening changes of guavas produced in Central Mexico. *Postharv. Biol. Technol.* 13 (2): 143-150.
- Miller, A. 2005. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. P.N.A.S. Domestication of a Mesoamerican cultivated fruit tree, *Spondias purpurea*. published ahead of print August 26, 2005. PNAS 2005 102 (36) 12801-12806.
- Mohsenin, N. 2002. Efecto de la broca del café en la firmeza del grano en los estados de cereza, pergamino húmedo y pergamino seco, en: Cenicafé. 2002:. 2da edicion, Gordon a breach science publise.
- Montalvo-González, E., González-Espinoza, N. García-Galindo, H. Tovar-Gómez, B., & Mata-Montes de Oca, M. (2009). Efecto del etileno exógeno sobre la desverdización del chile 'Poblano' en poscosecha. *Revista Chapingo. Serie horticultura*,15(2), 189-197.
- Moreno, I. 1999. Dinámica de C y N en suelos bajo diferentes usos. Proceed. XIV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del . Pucón, Chile.
- Moretti, C., Mattos, L., Calbo, A., & Sargent, S. (2009). Climate changes and potential impacts on postharvest quality of fruit and vegetable crops. A review. *Food Res, Int.* 9 p.
- Murray, X., Holcroft, D., Cook, N., & Wand, S. (2005). Postharvest quality of 'Laetitia' and 'Songold' (*Prunus salicina* Lindell) plums as affected by preharvest shading treatments. *Technol.* 37: (81-92.).
- Nielsen, D. & Wendroth, O. (2003). Spatial and temporal statistics. *GeoEcology textbook*,: Ed catena verlag gmbh.
- Normand, F. & Léchaudel, M. (2006). Toward a better interpretation and use of thermal time models. *Acta Hort.* 707: 159-164.

- O'Connel, B. (1976). On the significance of increased protein synteshis in ripening banana fruits. collingwood: v3,n3, 301-310.
- Ortega-Farías, Samuel O., Lozano, Pedro, Moreno, Yerko, & León, Lorenzo. (2002). desarrollo de modelos predictivos de fenología y evolución de madurez en vid para vino cv. cabernet sauvignon y chardonnay. Agricultura Técnica, 62(1), 27-37.
- Paliyath, G. y. (2008). Biochemistry of fruits.,Postharvest biology and tecnology. Wiley-Blackwell. 19-50 p.
- Parra-Coronado. A. 2015. Development and quality of pineapple guava fruit in two locations with different altitudes in Cundinamarca, Colombia. Bragantia, Campinas, v. 74, n. 3, 359-366 p.
- Parra-Coronado. A. 2014. Efecto de las condiciones climáticas en el crecimiento y calidad poscosecha del fruto de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret. Bogota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de agronomia Escuela de posgrados.
- Parra-Coronado, A., Hernández-Hernández, J., & Camacho-Tamayo, J. 2008. Fisiología postcosecha de frutas y hortalizas. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia,, 4ª ed.
- Parra-Coronado, Alfonso, Hernández-Hernández, José Eugenio, & Camacho-Tamayo, Jesús Hernán. 2007. Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la ciruela variedad horvin. Revista Brasileira de Fruticultura. 29(3), 431-437.
- Parra-Coronado, Alfonso, Hernández Hernández, José Eugenio, & Camacho-Tamayo, Jesús Hernán. 2006. Estudio de algunas propiedades físicas y fisiológicas precosecha de la pera variedad Triunfo de Viena. Revista Brasileira de Fruticultura. 28(1), 55-59.
- Pennington, T. & Sarukhán. J 1998. Arboles tropicales de Mexico. Manual identificacion de las principales especies . Mexico : Universidad Ncional Autonoma de Mexico-Fondo de cultura Economica. ISBN: 9789681678555.
- Perea, M. Fischer, G. Miranda, D. & Tirado, A. 2010. Biotecnología aplicada al mejoramiento de los cultivos de frutas tropicales. Editorial Universidad Nacional de Colombia. 330-349 p.
- Pérez M. E & Geissert K. D. 2003. estructura, agregación y porosidad en suelos forestales y cultivados de origen volcánico del cofre de perote. Foresta Veracruzana. 5(2):57-60.
- Pocasangre E. Finger, F. Barros, R. & Puschmann, R. 1995. Development and ripening of yellow passion fruit. J. Hort. Sci. Biotechnol. 70 (4): 573 - 576.

- Prasad, R. 1997. Soil fertility management for sustainable agriculture. Lewis Publishers. Boca. Raton. New York. 356 p.
- Puentes, G. 2006. Análisis de grupo de las empresas productoras de caducifolios del departamento de Boyacá. Tesis de maestría. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia-Bogotá.
- Puentes, G. 2008. Analisis de grupo de las empresas productoras de frutales caducifolios del departamento de Boyaca . Agron. Colombia.
- Pulido-Garcia, B. 2012. Plan de desarrollo 2012, Unidos por la defensa del medio ambiente y del desarrollo de nuestra gente , Nuevo Colon. Concejo municipal.
- Pulido S, 2008. Node appearance model for Lulo (*Solanum quitoense* Lam.) in the high altitude tropics. 101:383-387.
- Quintero, E. (2016). Ecología agrícola. <https://www.ecured.cu/Fenolog%C3%ADa>, consulta en septiembre de 2016.
- Quintero, O. 2012. Feijoa (*Acca sellowiana* Berg). En: Fischer, G. (ed.). Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá. 443-473 p.
- Quintero, O. (2003). Selección de cultivares, manejo del cultivo y regulación de cosechas de feijoa (*Acca sellowiana* Berg). En: Cultivo, poscosecha y exportación de la Feijoa (*Acca selloviana* Berg.).
- Rasmussen, P. 1994. Long term effect of residue management in wheat – fallow: I. Inputs, yield, and soil organic matter. Soil Sci. Soc. Am. J. 58: 523-530.
- Reicosky, D. 2002. Term Effect of Moldboard Plowing on Tillage – Induced CO₂ Loss, in J. M. Kimble, R. Lal and R. F. Follet: Agricultural Practices and Policies for Carbon Sequestration in Soil. Lewis Publishers. Papers from symposium held July 1999 Ohio State University, Columbus, , Ohio State University, Columbus, Ohio, 87-96 p.
- Riquelme.S. & Carrasco, J. 2010. manejo de suelos para el establecimiento de huertos frutales. En Jorge Riquelme Sanhuesa, suelo y su relacion con el manejo Chile. 11-49 p.
- Rojas. M. 2012. Comparación de métodos de determinación en Ensayo de rotaciones en siembra directa. INTA Centro Regional Chaco Formosa : Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña .
- Rucks L., García. F. Kaplán, A. 2004. Propiedades Físicas del Suelo . montevideo-uruguay : facultad de agronomía, universidad de la república.

- Ruiz E. Venialgo F. Crispín A. Gutiérrez N. Ingaramo O. Briend M. (2004). Infiltración de agua en el suelo con diferentes usos en el Departamento 9 de Julio (Chaco). Publicado por la Universidad Nacional del Nordeste de Argentina. 4p.
- Ruiz-Corral, J. Flores-López, H. Ramírez-Díaz, J. González-Equiarte, D. 2002. Temperaturas cardinales y duración del ciclo de madurez del híbrido de maíz H-311 en condiciones de temporal. *Agrociencia* 36: 569-577.
- Russel, E. 1973. *Soil Conditions and plant growth*. Longman, Group Limited, Décima edición. London. 849 p.
- Ryugo, K.1993. *Fruticultura: Ciencia y arte* . Mexico DF: AGT Editor.
- Salazar, M. 2008. A model for the potential production and dry matter distribution of Cape gooseberry (*Physalis peruviana* L.). *Sci Hortic-Amsterdam*. 115: 142–148.
- Salazar, M. 2006. Un modelo simple de producción potencial de uchuva (*Physalis peruviana* L), Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias .110 p.
- Salazar-Gutierrez MR, Johnson J, Chaves-Cordoba B, Hoogenboom G. 2013. Relationship of base temperature to development of winter wheat. *Int J Plant Prod*. 2013;7(4):741-762.
- Salisbury, F. Ross, C. 2000. *Fisiología de las Plantas 3: Desarrollo de las plantas y fisiología ambiental*. Thompson Editores Spain, Paraninfo S.A., Madrid. 527-564 p.
- Sanchez, D. 2015. Influencia de la temperatura en etapas postcosecha sobre la calidad de diferentes variedades de ciruela. Trabajo final de grado, universidad politécnica de valencia escuela técnica superior de ingeniería agronómica y del medio natural.
- Sánchez, E. 1998. Diagnostico nutricional y fertilización de ciruelo y duraznero. . Curso Internacional de Fruticultura de Clima Templado-Frio. INTA Centro Regional Cuyo, Mendoza, 16 al 20 de junio , Cap. 11:1-6 p.
- Sánchez, J. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J*. 96,769-775.
- Sanzano, A. 2016 Cátedra de Edafología. faz. unt., de el azufre en el suelo. <http://www.edafologia.com.ar/Descargas/Cartillas/El%20Azufre%20del%20suelo.pdf>. consulta septiembre de 2016.
- Schouten, R. & Van O. 2002. Predicting keeping quality of batches of cucumber fruits based on a physiological mechanism. . *Postharv. Biol.Technol.*, 26: 209–220.

- Sikder, S. 2009. Accumulated heat unit and phenology of wheat cultivars as influenced by late sowing heat stress condition. 7:1y2 :57-64 p.
- Sinchi. 2010. Monitoreo de los bosques y otras coberturas de la Amazonia colombiana, periodo 2002. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá D.C. 212 p.
- USDA. 1999. Soil Taxonomy. A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. En Soil Survey Staff. 2a. Ed. Agriculture Handbook N° 436. Washington D. C. 869 p.
- Solarte, M. Hernández, M., Morales, A., Fernández, J., & y Melgarejo, L. 2010. Caracterización fisiológica y bioquímica del fruto de guayaba durante laEn: Morales, A.L.; Melgarejo, L.M. (eds.). 2010. Desarrollo de productos funcionales promisorios a partir de la guayaba (*Psidium guajava* L.) para el fortalecimiento de la cadena prod. Bogota.: Facultad de Ciencias, Universidad Nacional.
- Stenzel N. 2006. Maturation curves and degree-day accumulation for fruits of 'Folha Murcha' orange trees. *Sci Agric.* . (63(3):219-225).
- Swift, M. 1979. Decomposition in terrestrial ecosystems, *Studies in Ecology* 5Blackwell Scientific Publications, London. 323 p.
- Thornley, J., & France, J. 2007. Mathematical models in agriculture. Quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences.Trowbridge. UK. 2nd edition. Cromwell Press.
- Trudgill, D.L., A. Honek, D. Li y N.M. Van Straalen. 2005. Thermal time & Concepts and utility. *Ann. Appl. Biol.* 146, 114 p.
- Vargas.S. 2011. Caracterización morfológica de ciruela (*Spondias purpurea* L.) En tres municipios del Estado de Tabasco.
- Verma, L, & Joshi, K. 2000. Postharvest technology of fruits and vegetables: an overview. Indus Publishing, New Delhi.
- Villegas. C. 2009. El cultivo del ciruelo. Proyecto Planton-Pacayas. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/a00169.pdf>. consulta septiembre de 2016.
- Walczak, R. Witkowska-Walczak; Slawinski. C. 2002. Comparison pf correlation models for the estimation of the water retention characteristic of soil. *Int. Agrophysics*, 16: 79-82.
- Wander, M. Walter, G. Nissen, M. Bollero, Andrews, & Cavanaugh-Grant. D. 2002. Soil Quality . *Agron. J.* 94:23-32 p.

- West, T. 2002. soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66, 1930-1946.
- Weston, L. A., & Barth, M. 1997. Preharvest factors affecting postharvest quality of vegetables. *HortScience* , 32 (5): 812-816.
- Willians J. 2010. Evaluación de la susceptibilidad a la compactación en cuatro series de suelo bajo uso agrícola en Venezuela. Venezuela: Universidad Nacional Experimental "Francisco de Miranda.
- Yang S, Logan J, Coffey D. 1995. Mathematical formulae for calculating the base temperature for growing degree days. *Agric For Meteorol.*;74:61-74.
- Zotarelli, L.; Scholberg, J.M.; Dukes, M.D.; Muñoz-Carpena, R.; Icerman, J. 2009. Tomato yield, biomass accumulation, root distribution and irrigation water use efficiency on a sandy soil, as affected by nitrogen rate and irrigation scheduling. *Agr. Water Manage.* 96: 23-34.

GIT | LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS

[illegible]